



SKRIPSI - TK 141581

**PEMBUATAN KATALIS PADAT $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ UNTUK
PRORES TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA
SAWIT RBD**

Aristia Anggraeni Santoso

NRP. 2313 105 007

Aulia Kartika Dewi

NRP. 2313 105 012

Dosen Pembimbing

Ir. Ignatius Gunardi, MT

NIP. 1955 09 21 1984 03 1001

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2015



FINAL PROJECT - TK 141581

**“PRODUCTION OF SOLID CATALYST $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
FOR TRANSESTERIFICATION PROCESS RBD
PALM OIL”**

Aristia Anggraeni Santoso

NRP. 2313 105 007

Aulia Kartika Dewi

NRP. 2313 105 012

Advisor

Ir. Ignatius Gunardi, MT

NIP. 1955 09 21 1984 03 1001

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

"PEMBUATAN KATALIS PADAT $K_2O-Al_2O_3$ UNTUK PROSES TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT RBD"

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh:

Aristia Anggraeni Santoso
Aulia Kartika Dewi

2313 105 007
2313 105 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Ir. Ignatius Gunardi, MT

(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

(Penguji I)

3. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M. Eng

(Penguji II)

4. Ir. Minto Yuwana, MS

(Penguji III)

SURABAYA

JULI 2015

Pembuatan Katalis Padat $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit RBD

Nama / NRP : Aristia Anggraeni S. NRP.2313.105.007
Aulia Kartika Dewi NRP.2313.105.012
Dosen Pembimbing : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari cara membuat katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel, mempelajari pengaruh katalis homogen KOH dan katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terhadap yield biodiesel melalui transesterifikasi minyak kelapa sawit pada reaktor batch, mempelajari pengaruh temperatur reaksi dan waktu terhadap yield biodiesel yang dihasilkan pada reaktor batch, dan mendapatkan yield dan konversi terbaik dari kombinasi variabel penelitian.

Penelitian ini mengembangkan katalis $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Pembuatan katalis melalui metode impregnasi KOH pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Kemudian, dioven selama 24 jam pada suhu 110°C dan dikalsinasi pada suhu 475°C selama 4 jam dengan dialirkan gas H_2 dan N_2 . Katalis yang diperoleh digunakan untuk proses transesterifikasi biodiesel dengan variabel massa katalis 0,5; 1; 2 gram, waktu 0; 30; 60; 90; 120 menit dan suhu 60; 80; 100°C .

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam reaktor batch. Berdasarkan hasil analisa BET didapat luas permukaan katalis sebesar $59,538\text{ m}^2/\text{g}$. Pengaruh komposisi katalis terhadap yield biodiesel menunjukkan bahwa semakin besar penambahan katalis sebanding dengan kenaikan yield biodiesel, komposisi katalis optimum diperoleh pada massa katalis 1 gram KOH dan 7 gram $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Yield biodiesel tertinggi menggunakan katalis homogen (KOH) dengan yield sebesar 71,752% diperoleh pada kondisi operasi suhu 60°C dan waktu reaksi 120 menit.

Kata kunci: Biodiesel, Minyak Kelapa, Transesterifikasi, Reaktor Batch

Production of Solid Catalyst $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ for Transesterification Process RBD Palm Oil

Name / NRP : Aristia Anggraeni S. NRP. 2313.105.007
Aulia Kartika Dewi NRP. 2313.105.012
Advisor : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABTRACT

Biodiesel is one of alternative energy for fuel which made from transesterification reaction between vegetable oil and methanol. This study aims to learn how to make heterogeneous catalysts $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ for palm oil transesterification reaction into biodiesel, study the effect of KOH homogeneous catalysts and heterogeneous catalysts $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ to the yield of biodiesel through transesterification of palm oil in a batch reactor, study the effect of reaction temperature and time on the yield of biodiesel produced in a batch reactor, and get the best yield and the conversion of a combination of research variables.

This study developes a catalyst $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Preparation of the catalyst through impregnation method KOH on $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Then, the oven for 24 hours at a temperature of 110°C and calcined at a temperature of 475°C for 4 hours with H_2 and N_2 gas flowed. The catalyst obtained is used to process biodiesel tranesterifikasi with variable catalyst mass of 0.5; 1; 2 grams, time 0; 30; 60; 90; 120 minutes and a temperature of 60; 80; 100°C .

The result showed that biodiesel can be produced through a reaction using catalysts tranesterifikasi $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ in a batch reactor. The influence of the catalyst composition of the biodiesel yield show that the larger the addition of the catalyst is proportional to the increase biodiesel yield, the optimum catalyst composition is obtained in the catalyst mass 1 gram of KOH and 7 grams of $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. The highest yield of biodiesel using homogeneous catalyst (KOH) at a yield of 71,752% is obtained at a temperature of 60°C operating conditions and reaction time of 120 minutes.

Keyword : Biodiesel, Coconut Oil, Transesterification, Batch Reaktor.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT. atas petunjuk, berkah, dan limpahan rahmat-Nya serta kekuatan lahir dan batin yang diberikan sehingga proses penyusunan proposal tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar. Skripsi kami mengambil judul **“Pembuatan Katalis Padat K/ γ -Al₂O₃ untuk Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit RBD”**.

Melalui skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sehingga mampu menjadi bahan informasi dan bahan pertimbangan kepada masyarakat luas serta pihak-pihak yang terkait dalam pendayagunaan minyak nabati dalam rangka mengurangi ketergantungan pada minyak bumi serta menjadi referensi bagi para peneliti selanjutnya.

Penyusunan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA selaku Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia sekaligus Dosen Pembimbing, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Ignatius Gunardi, MT., selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia ITS.
4. Bapak Setiyo Gunawan, ST., Ph.D, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
5. Bapak dan Ibu Dosen penguji Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
6. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

7. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami yang telah memberikan doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
8. Rekan-rekan sekerja kami di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia (TRK Crew 2014-2015), Pak Tomo atas semua saran, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan.
9. Rekan-rekan Teknik Kimia LJ angkatan 2013 yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Pihak-pihak lain yang dapat memberikan dukungan dan bantuan sehingga penyelesaian skripsi ini dapat berjalan lancar.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I	PENDAHULUAN
I.1.	Latar Belakang 1
I.2.	Rumusan Masalah 2
I.3.	Tujuan Penelitian..... 3
I.4	Manfaat Penelitian..... 3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA
II.1.	Biodiesel 5
II.2.	Minyak Kelapa Sawit 9
II.2.1	Trigliserida pada Minyak Kelapa Sawit ... 11
II.2.2	Asam Lemak Bebas..... 12
II.3.	Tranesterifikasi..... 13
II.3.1	Reaktor Batch pada Proses Transesterifikasi 18
II.4.	Karakteristik Katalis 19
II.4.1	Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)..... 23
II.4.2	Kalium Hidroksida (KOH) 25
II.5.	Metanol 26
II.6	Parameter yang Digunakan dalam Penentuan Karakteristik Biodiesel..... 27
II.7	Peneliti Terdahulu 29
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN
III.1.	Bahan dan Alat 31
III.1.1.	Bahan 31
III.1.2.	Peralatan..... 31
III.2.	Variabel Percobaan..... 33
III.2.1.	Variabel Tetap..... 33

III.2.2.	Variabel Berubah.....	33
III.3.	Parameter yang Dianalisa.....	33
III.4.	Diagram Alir Penelitian	34
III.4.1.	Preparasi Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	34
III.4.2.	Skema Proses Tranesterifikasi dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor Batch	35
III.4.3.	Skema Proses Tranesterifikasi dengan Katalis Heterogen K/ γ -Al ₂ O ₃ pada Reaktor Batch	37
III.5.	Prosedur Penelitian	38
III.5.1.	Preparasi Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	38
III.5.2.	Skema Proses Tranesterifikasi dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor Batch	38
III.5.3.	Skema Proses Tranesterifikasi dengan Katalis Heterogen K/ γ -Al ₂ O ₃ pada Reaktor Batch	39
III.6.	Teknik Analisa Data dan Penyimpulan.....	40
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1	Hasil Analisa GCMS pada Bahan Baku	44
IV.2	Hasil Analisa Katalis	44
IV.2.1.	Hasil Analisa XRD Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	44
IV.2.2.	Hasil Analisa BET Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	46
IV.3	Uji Efektivitas Katalis pada Reaktor <i>Batch</i>	46
IV.4	Produksi Biodiesel dengan Proses Transterifikasi pada Reaktor <i>Batch</i>	49
IV.4.1.	Pengaruh Massa Katalis Terhadap %Yield dan %Konversi Biodiesel.....	49
IV.5	Karakteristik Produk Biodiesel Terbaik.....	57
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1.	Kesimpulan.....	59
V.2.	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	xi

DAFTAR NOTASI.....	xv
APPENDIKS	A-1
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Perbandingan Standar Untuk Diesel dan Biodiesel Berdasarkan ASTM	5
Tabel II.2.	Standar Biodiesel Menurut SNI 04-7182-2006.....	6
Tabel II.3.	Kadar Asam Lemak Dalam Lemak Sawit	11
Tabel II.4.	Komposisi Trigliserida Dalam Minyak Kelapa Sawit.....	12
Tabel II.5.	Kandungan Asam Lemak Bebas dari Berbagai Minyak Kelapa Sawit	13
Tabel II.6.	Persentase Ester yang Terbentuk Berkaitan Dengan Kandungan FFA pada Transesterifikasi pada Suasana Basa	17
Tabel II.7 .	Klasifikasi Komponen Aktif	20
Tabel II.8.	Klasifikasi Support/Pengembangan.....	20
Tabel II.9.	Perbandingan Katalis Homogen dan Heterogen	22
Tabel II.10	Penelitian Terdahulu	29
Tabel IV.1.	Hasil Analisa GC Minyak Kelapa Sawit <i>Merk Bimoli</i>	44
Tabel IV.2.	Hasil Transesterifikasi dengan Katalis KOH pada Reaktor <i>Batch</i>	50
Tabel IV.3	Hasil Transesterifikasi dengan Katalis $K/\gamma-Al_2O_3$ pada Reaktor <i>Batch</i>	53
Tabel IV.4	Perbandingan Spesifikasi Biodiesel	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Peta Wilayah Penyebaran Kelapa Sawit	9
Gambar II.2.	Penampang Buah Kelapa Sawit.....	10
Gambar II.3.	Reaksi Pembentukan Trigliserida	11
Gambar II.4.	Reaksi Transesterifikasi	14
Gambar II.5.	Mekanisme Transesterifikasi pada Suasana Basa.....	17
Gambar II.6.	Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)	24
Gambar II.7.	KOH.....	25
Gambar III.1.	Peralatan Kalsinasi	31
Gambar III.2.	Rangkaian Reaktor <i>Batch</i>	32
Gambar III.3.	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar III.4.	Skema Preparasi Katalis	34
Gambar III.5.	Skema Proses Transesterifikasi dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor <i>Batch</i>	36
Gambar III.6.	Skema Proses Tranesterifikasi dengan Katalis Heterogen K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada Reaktor <i>Batch</i>	38
Gambar IV.1.	Grafik Hasil Uji GCMS Minyak Kelapa Sawit <i>merk</i> Bimoli	43
Gambar IV.2.	Hasil Analisa XRD untuk Katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (10% loading K terhadap $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)	45
Gambar IV.3.	Hasil Analisa GC Produk Biodiesel Dengan Katalis KOH 1 gram	47
Gambar IV.4.	Hasil Perhitungan Yield untuk Katalis KOH	47
Gambar IV.5.	Hasil Perhitungan <i>Yield</i> untuk Katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	48
Gambar IV.6.	Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan % <i>Yield</i> pada Berbagai Suhu Katalis KOH.....	51
Gambar IV.7.	Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %Konversi pada Berbagai Suhu	

Katalis KOH.....	52
Gambar IV.8. Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %Yield pada Berbagai Suhu Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	54
Gambar IV.9. Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %Konversi pada Berbagai Suhu Katalis K/ γ -Al ₂ O ₃	56
Gambar IV.10. Hasil Analisa GC Produk Biodiesel Terbaik	57

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
X_A	Konversi	%
ν	Viskositas Kinematik	Cm^2/s
m	Berat massa	Gram
V	Volume	ml
BM	Berat Molekul	Gram/mol
ρ	Densitas	gram/cm^3
t	waktu	Detik

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Reaksi transesterifikasi banyak dikenal secara komersial dalam reaksi organik industri. Dalam reaksi ini, suatu ester dikonversi menjadi ester lain dengan mempertukarkan gugus asam atau gugus alkoholik. Apabila transesterifikasi mempertukarkan gugus alkoholik, maka disebut reaksi alkoholisis. Dalam alkoholisis, alkohol diberikan berlebih untuk memperoleh yield yang tinggi dari ester yang diinginkan. Akhir-akhir ini, produksi alkil ester, secara khusus metil ester, dari minyak tumbuhan (seperti minyak kelapa sawit, minyak jarak pagar) menjadi sangat populer dalam proses pembuatan biodiesel dari bahan baku terbarukan (Anonim, 2015).

Proses pembuatan biodiesel selama ini dilakukan melalui proses transesterifikasi minyak tumbuhan dengan alkohol, menggunakan katalis homogen asam / basa (H_2SO_4 atau HCl / NaOH atau KOH). Namun proses pembuatan biodiesel secara konvensional ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya penggunaan energi yang cukup tinggi, terbentuknya produk samping berupa sabun (Zabeti, dkk., 2009), rumitnya pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis yang digunakan (Freedman, dkk., 1984.; Canakci dan Gerpen, 1999), serta adanya limbah alkali dalam jumlah yang besar mengakibatkan ancaman terhadap lingkungan.

Penggunaan basa seperti KOH dan NaOH sebagai katalis, dipandang lebih menguntungkan karena reaksi dapat dioperasikan pada tekanan atmosferik dan bertemperatur 60-100 °C. Reaksi dapat menghasilkan biodiesel hingga persentase di atas 90% walaupun hanya digunakan rasio mol minyak metanol yang kecil dan waktu reaksi yang relatif singkat (Nurhayati, dkk., 2013).

Walaupun dapat menghasilkan produk dalam jumlah besar dan waktu yang singkat, penggunaan katalis basa cair

(sistem katalisis homogen) tersebut juga tidak lepas dari masalah. Basa seperti NaOH dan KOH bersifat sangat sensitif terhadap asam lemak bebas dan air yang terkandung dalam minyak. Basa dapat bereaksi dengan asam lemak bebas dan membentuk sabun (saponifikasi) yang dapat menyulitkan proses pemurnian, menurunkan rendemen hasil biodiesel dan memperbanyak konsumsi katalis (Nurhayati, dkk., 2013). Selain itu reaksi katalisis homogen diketahui memiliki beberapa kelemahan, yaitu mudah terjadi korosi pada reaktor, pemisahan katalis dan produk yang sulit, dibutuhkan air dalam jumlah banyak untuk menetralkan produk, katalis tidak dapat dipakai kembali dan sulit untuk dipakai pada proses reaksi kontinyu (Xie dkk, 2006).

Untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam reaksi berkatalis homogen, maka saat ini banyak dikembangkan proses reaksi yang menggunakan katalis padat (sistem katalis heterogen). Berbagai jenis logam oksida yang dimanfaatkan sebagai pengemban katalis, yaitu seperti silika, silika-alumina, MgO, ZnO, zeolit dan clay, pengemban yang sering dipilih adalah γ -alumina. Gamma alumina memiliki stabilitas termal dan mekanik yang tinggi, mempunyai luas permukaan spesifik, diameter pori dan volume pori yang besar sehingga cocok untuk digunakan pengemban katalis dalam berbagai macam reaksi. Perpindahan inti aktif katalis dan γ -alumina akan diperoleh padatan yang memiliki luas permukaan yang besar dengan situs aktif yang banyak sehingga dapat menjadi katalis yang efektif dan efisien dalam proses reaksi transesterifikasi (Handi, 2012).

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat katalis heterogen K/ γ -Al₂O₃ untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel?

2. Bagaimana pengaruh katalis homogen KOH dan katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terhadap *yield* biodiesel melalui transesterifikasi minyak kelapa sawit pada reaktor *batch*?
3. Bagaimana pengaruh temperatur reaksi dan waktu terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan pada reaktor *batch*?
4. Bagaimana cara mendapatkan *yield* dan konversi terbaik melalui reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit RBD pada reaktor *batch* dengan katalis katalis homogen KOH dan katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan :

1. Mempelajari cara membuat katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel
2. Mempelajari pengaruh katalis homogen KOH dan katalis heterogen $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terhadap *yield* biodiesel melalui transesterifikasi minyak kelapa sawit pada reaktor *batch*.
3. Mempelajari pengaruh temperatur reaksi dan waktu terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan pada reaktor *batch*.
1. Mendapatkan *yield* dan konversi terbaik dari kombinasi variabel penelitian.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini :

1. Menghasilkan biodiesel yang ramah lingkungan, karena bersifat *biodegradable*.
2. Memberikan nilai tambah dalam pemanfaatan minyak nabati, khususnya minyak kelapa sawit.
3. Biaya produksi menjadi lebih murah karena pemisahan katalis dengan produk biodiesel lebih mudah sehingga proses lebih sederhana.
4. Meningkatkan produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dalam reaktor *batch*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang berupa senyawa mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan. Karena kandungan senyawanya ini, biodiesel sering disebut FAME (*Fatty Acid Methyl Esther*). Biodiesel memiliki propertis pembakaran yang menyerupai petroleum diesel, namun bebas sulfur sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih bersih. Selain itu, biodiesel memiliki *flash point* yang lebih tinggi, efisiensi pelumasan yang lebih baik serta bilangan setana yang lebih tinggi (Maharani, 2010).

Biodiesel pertama kali di kenalkan di Afrika Selatan sebelum perang dunia ke II sebagai bahan bakar kendaraan berat. Bahan bakar nabati biodiesel merupakan kandidat kuat sebagai bahan alternatif pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Perbandingan standar untuk diesel dan biodiesel berdasarkan ASTM ditampilkan dalam tabel 2.1. berikut.

Tabel II.1 Perbandingan Standar untuk Diesel dan Biodiesel berdasarkan ASTM

Property	Diesel	Biodiesel
Standard Number	ASTM D975	ASTM D6751
Composition	Hydrocarbon (C ₁₀ -C ₂₁)	Fatty Acid Methyl Ester (C ₁₂ -C ₂₂)
Specific Gravity	0.85	0.88
Flash Point (K)	333-353	373-443
Cloud Point (K)	258-278	270-285
Pour Point (K)	243-258	258-289
Water (vol%)	0.05	0.05
Carbon (wt%)	87	77
Hydrogen (wt%)	13	12
Oxygen (wt%)	0	11

Sulphur (wt%)	0.05	0.05
Cetane Number	40-55	48-60

Secara konsep, proses pembuatan biodiesel tidaklah rumit. Biodiesel dihasilkan melalui proses yang disebut reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol dan bantuan katalis sehingga dapat menghasilkan metil ester / etil ester asam lemak dengan gliserol.



Reaksi transesterifikasi berlangsung lambat sehingga diperlukan katalis untuk mempercepat reaksi. Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibanding bahan bakar diesel petroleum. Kelebihan tersebut antara lain (Tuti, 2011) :

1. Campuran dari 20 % biodiesel dengan 80 % petroleum diesel dapat digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi.
2. Industri biodiesel dapat menggunakan minyak nabati atau minyak daur ulang.
3. Biodiesel tidak beracun.
4. Biodiesel memiliki *cetane number* yang tinggi.
5. Penggunaan biodiesel dapat memperpanjang umur mesin diesel karena biodiesel lebih licin.
6. Biodiesel menggantikan bau petroleum dengan bau yang lebih enak.

Penetapan standard biodiesel antara satu negara dengan negara lainnya berbeda. Standard ini disesuaikan dengan iklim dan kondisi di masing-masing negara. Sedangkan standard mutu biodiesel Indonesia (SNI 04-7182-2006) dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel II.2 Standar Biodiesel menurut SNI 04-7182-2006

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Massa jenis pada 40 °C	850-890	kg/m ³
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	2,3-6	mm ² /s(cst)

3	Angka setana	Min 51	
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	Min 100	°C
5	Titik kabut	Maks 18	°C
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)	Maks no 3	
7	Residu karbon - Dalam contoh asli - Dalam 10% ampas distilasi	Maks 0.05 Maks 0.30	
8	Air dan sediment	Maks 0,5*	% vol
9	Temperatur destilasi 90%	Maks 360	°C
10	Abu tersulfatkan	Maks 0,02	% massa
11	Belerang	Maks 100	ppm-m (mg/kg)
12	Fosfor	Maks 10	ppm-m (mg/kg)
13	Angka asam	Maks 0,8	mg-KOH/g
14	Gliserol bebas	Maks 0,02	% massa
15	Gliserol total	Maks 0,24	% massa
16	Kadar ester alkyl	Maks 96,5	% massa
17	Angka iodium	Maks 115	% massa (g-I ₂ /100 g)
18	Uji Helphen	Negatif	

Sumber : SNI 04-7182-2006

Parameter-parameter yang harus dimiliki biodiesel ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Flash point* untuk biodiesel umumnya tinggi (yaitu lebih besar dari 150°C). Alkil ester ini tidak volatil. Batasannya yaitu antara $100\text{--}170^{\circ}\text{C}$. Dari batasan ini yang paling rendah yaitu 100°C . Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kelebihan alkohol yang ditambahkan selama proses. Dengan adanya alkohol ini dapat menyebabkan kerusakan pada pompa bahan bakar dan dapat menghasilkan daya pembakaran rendah.
2. Uji abu sulfat bertujuan untuk memastikan penghilangan semua katalis yang dimasukkan selama proses. Jika kandungan sisa katalis proses yang masih ada dalam alkil ester tinggi dapat menyebabkan terbentuknya endapan pada injektor atau penyumbatan pada saringan mesin.
3. Bilangan setana menunjukkan cepat tidaknya suatu bahan bakar terbakar dalam mesin. Alkil ester mempunyai bilangan setana yang tinggi bila dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Angka setana yang tinggi, menunjukkan bahwa biodiesel dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah sehingga akan mudah terbakar di dalam silinder pembakaran mesin dan tidak terakumulasi.
4. Bilangan gliserin bebas dan total gliserin diukur untuk menunjukkan sempurna tidaknya suatu trigliserida diubah menjadi alkil ester. Jika bilangan ini tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada mesin.
5. Bilangan asam diukur untuk melihat tingkat keasaman suatu bahan bakar diesel. Jika bilangan asam ini tinggi, maka akan menyebabkan pengurangan waktu pemakaian pompa bahan bakar dan juga dapat mengurangi waktu pemakaian saringan pada mesin.
6. Angka iod biodiesel yang dihasilkan harus sangat kecil, hal ini dapat menunjukkan bahwa sebagian besar

biodiesel disusun oleh asam lemak dengan rantai hidrokarbon jenuh.

II.2 Minyak Kelapa Sawit

Indonesia adalah negara penghasil minyak nabati terbesar dunia. Minyak kelapa sawit sangat berpotensi sebagai bahan baku biodiesel dan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk menghasilkan bahan bakar biodiesel. Terlebih lagi pada 2007 Indonesia tercatat sebagai penghasil dan pengeksport minyak kelapa sawit terbesar di dunia.

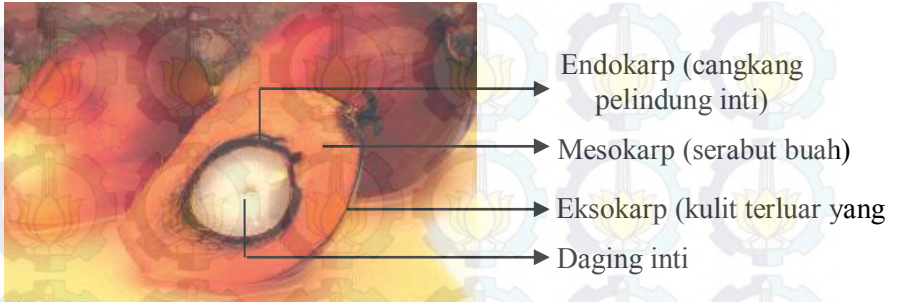
Sampai dengan 2010, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 7,8 juta hektar, terdiri dari 3,3 juta hektar perkebunan rakyat, 616 ribu hektar perkebunan negara, dan 3,9 juta hektar perkebunan swasta dengan produksi 21,14 juta ton minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*, CPO). Bila dibandingkan pada 1968 dengan luas areal masih 119.660 hektar dengan produksi 181.444 ton CPO, maka perkelpasawitan di Indonesia sampai 2010 berkembang sangat pesat hingga menjadi 117 kali lipat. Peningkatan pesat produksi kelapa sawit mulai nampak kurang lebih 20 tahun terakhir. Dalam kurun waktu sekitar 15 tahun terakhir produksi minyak kelapa sawit meningkat hampir lima kali lipat, dari 4,8 juta ton minyak sawit mentah (CPO) pada 1996 menjadi 19,8 juta ton pada 2010 (Departemen Agribisnis, 2013).



Gambar II.1 Peta Wilayah Penyebaran Kelapa Sawit (Sumber: BKPM)

Salah satu sebab meningkatnya pemakaian minyak kelapa sawit adalah karena kegunaannya yang sangat beragam. Mulai dari penggunaannya untuk kebutuhan rumah tangga seperti minyak goreng dan lemak, sampai penggunaannya dalam produk-produk industri seperti margarin, gula-gula, produk sereal, dan mayones. Lebih lanjut, minyak kelapa sawit dipakai dalam industri-industri kimia untuk memproduksi cat, sabun cuci, produk-produk farmasi, minyak hidrolisis dan minyak pelumas hingga penggunaannya untuk menghasilkan energi sebagai bahan bakar biodiesel.

Kelapa sawit adalah tumbuhan industri penting penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel). Buah sawit dilapisi jaringan kulit tipis dibagian terluar (*eksokarp*), serabut buah (*mesokarp*) yang mengandung minyak, cangkang keras (*endokarp* atau *shell*) dan kernel (inti sawit) yakni sumber minyak inti dan makanan ternak, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar II.2 Penampang Buah Kelapa Sawit

Mesokarp mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (kernel) mengandung minyak sebesar 44%, dan endokarp tidak mengandung minyak. Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati lainnya adalah merupakan senyawa

yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida.

Minyak kelapa sawit tersusun dari *fatty acids*, *esterified*, serta *glycerol* yang masih banyak lemaknya. Minyak kelapa sawit tinggi serta penuh akan *fatty acids*, antara 50% hingga 80% dari masing-masingnya. Minyak kelapa sawit mempunyai 16 nama *carbon* yang penuh asam lemak *palmitic acid*. Ukuran dari asam lemak dalam minyak kelapa sawit sebagai berikut:

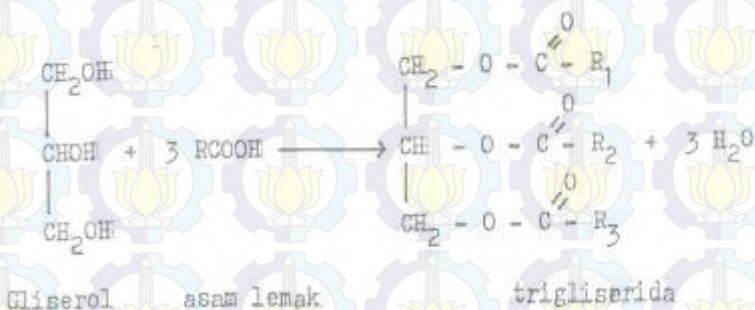
Tabel II.3 Kadar Asam Lemak dalam Minyak Sawit

Tipe Asam Lemak	Presentase
Palmitic C ₁₆	44.3%
Stearic C ₁₈	4.6%
Myristic C ₁₄	1.0%
Oleic C ₁₈	38.7%
Linoleic C ₁₈	10.5%
Lainnya	0.9%

(Sumber : Depperin, 2007)

II.2.1 Trigliserida Pada Minyak Kelapa Sawit

Seperti halnya lemak dan minyak lainnya, minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak menurut reaksi sebagai berikut :



Gambar II.3 Reaksi Pembentukan Trigliserida

Berikut ini adalah tabel dari komposisi trigliserida dari minyak kelapa sawit yang ditunjukkan pada tabel II.4.

Tabel II.4 Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa Sawit

Trigliserida	Jumlah (%)
Tripalmitin	3 – 5
Dipalmito – Stearine	1 – 3
Oleo – Miristopalmitin	0 – 5
Oleo – Dipalmitin	21 – 43
Oleo- Palmitostearine	10 – 11
Palmito – Diolein	32 – 48
Stearo – Diolein	0 – 6
Linoleo – Diolein	3 – 12

Sumber : Ketaren , 1986

II.2.2 Asam Lemak Bebas

Asam lemak bebas adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini dapat disebabkan oleh pemanasan dan terdapatnya air sehingga terjadi proses hidrolisis. Oksidasi juga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak nabati.

Tingginya kandungan asam lemak bebas akan meningkatkan jumlah sabun yang terbentuk dan menurunkan yield ester. Selain itu, proses pemisahan sabun yang terbentuk juga relatif sulit dan mahal. Sedangkan keberadaan air, khususnya pada suhu tinggi akan memicu hidrolisa trigliserida menjadi digliserida dan asam lemak.

Dalam proses konversi trigliserida menjadi alkil esternya melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa, asam lemak bebas harus dipisahkan atau dikonversi menjadi alkil ester terlebih dahulu karena asam lemak bebas akan mengkonsumsi katalis. Pemisahan atau konversi asam lemak bebas ini dinamakan tahap preesterifikasi. Komposisi asam lemak bebas dari berbagai minyak yang dapat dihasilkan dari kelapa sawit dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel II.5 Kandungan Asam Lemak Bebas dari Berbagai Minyak Kelapa Sawit

Minyak	FFA
<i>RBD Palm Oil</i>	< 0.1 %
<i>Crude Palm Oil</i>	1 – 10 %
<i>Palm Fatty Acid Distillate</i>	70 – 90 %
<i>Crude Palm Kernel Oil</i>	1 – 10 %
<i>Crude Palm Stearin</i>	1 – 10 %
<i>Palm Sludge Oil</i>	10 – 80 %

Sumber :

<http://karanhtengahraharjo.blogspot.com/2011/10/minyak-kepala-sawit.html>

II.3 Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan suatu proses menggunakan alkohol seperti metanol, dimana alkohol dengan adanya katalis digunakan untuk memutuskan molekul-molekul minyak nabati menjadi metil atau etil ester dan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingnya. Transesterifikasi ini bukan merupakan proses baru. Proses ini telah mulai dikenal pada awal tahun 1853 yang ditemukan oleh E.Duffy dan J. Patrick. Secara kimia, transesterifikasi bermakna pengubahan molekul-molekul trigliserida atau asam lemak kompleks, menetralkan asam lemak bebas, menghilangkan gliserin dan membentuk alkohol ester (helzamy, 2004). Transesterifikasi merupakan proses pertukaran bagian alkohol dari suatu ester yang dapat dicapai dalam larutan asam atau basa oleh suatu reaksi dapat balik antara ester dan alkohol (Fessenden, 1986).

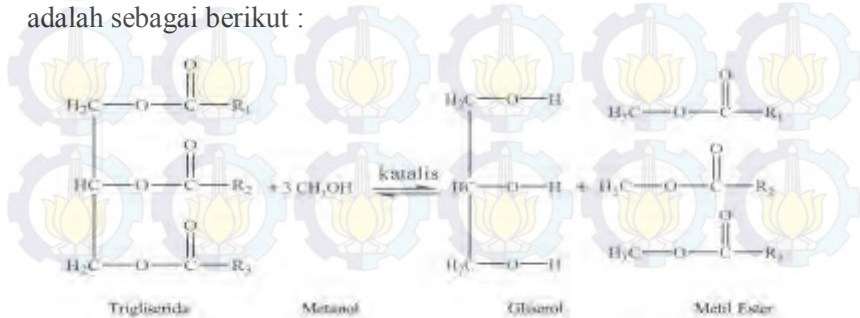
Proses transesterifikasi bila ditinjau dari penggunaan katalis, dapat dibedakan atas tiga macam proses, yaitu sebagai berikut:

- Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis asam. Proses ini menggunakan katalis asam-asam kuat seperti asam sulfonat dan asam sulfat. Katalis ini menghasilkan produk alkil ester yang tinggi, tetapi

reaksinya lambat dan juga memerlukan temperatur operasi yang tinggi yaitu diatas 100°C dan dapat mencapai waktu operasi selama 3 jam.

- b. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa. Proses transesterifikasi ini berjalan lebih cepat bila dibandingkan dengan menggunakan katalis asam, dan juga tidak memerlukan temperatur operasi yang tinggi karena dapat dioperasikan pada temperatur kurang dari 100°C
- c. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis enzim. Proses transesterifikasi ini belum dikembangkan secara komersil, tetapi banyak dilakukan penelitian-penelitian dengan menggunakan katalis enzim. Aspek umum yang ditinjau dari reaksi ini adalah optimalisasi kondisi utamanya yaitu : pelarut, temperatur, pH, jenis mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim, dan lain sebagainya, yang bertujuan untuk menyusun karakteristik-karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan di bidang industri.

Reaksi Transesterifikasi (biasa disebut dengan reaksi alkoholisisasi) adalah tahap konversi dari trigliserida dari minyak nabati direaksikan dengan alkohol membentuk alkyl ester sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping (Freedman, *et al.*, 1986 dan Wright, *et al.*, 1994). Metanol adalah jenis alkohol yang paling umum digunakan karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi. Reaksi transesterifikasi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar II.4 Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi bolak-balik yang relatif lambat. Untuk mempercepat jalannya reaksi dan meningkatkan hasil, proses dilakukan dengan pengadukan yang baik, penambahan katalis dan pemberian reaktan berlebih agar reaksi bergeser ke kanan. Pemilihan katalis dilakukan berdasarkan kemudahan penanganan dan pemisahannya dari produk. Untuk itu dapat digunakan katalis asam, basa dan penukar ion.

Proses transesterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : suhu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis dan perbandingan etanol-asam lemak. Proses transesterifikasi akan berlangsung lebih cepat bila suhu dinaikkan mendekati titik didih alkohol yang digunakan. Semakin tinggi kecepatan pengadukan akan menaikkan pergerakan molekul dan menyebabkan terjadinya tumbukan. Pada awal terjadinya reaksi, pengadukan akan menyebabkan terjadinya difusi antara minyak atau lemak sampai terbentuk metil ester. Pemakaian alkohol berlebih akan mendorong reaksi ke arah pembentukan etil ester dan semakin besar kemungkinan terjadinya tumbukan antara molekul-molekul metanol dan minyak yang bereaksi (Hui, 1996). Disamping faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya, kemurnian reaktan terutama kandungan air dan kandungan asam lemak bebas (FFA) juga merupakan faktor yang mempengaruhi keberlangsungan reaksi transesterifikasi.

Transesterifikasi minyak nabati menjadi metil ester dilakukan dengan satu atau dua tahap proses, tergantung pada mutu awal minyak nabati (Schuchardt, *et al.*, 1998). Produk yang dihasilkan setelah proses transesterifikasi merupakan campuran antara metil ester (biodiesel) dan gliserol. Dimana untuk mendapatkan produk murni harus dipisahkan antara gliserol dengan metil esternya. Beberapa kondisi reaksi yang dapat mempengaruhi konversi serta perolehan produk biodiesel melalui proses transesterifikasi adalah sebagai berikut :

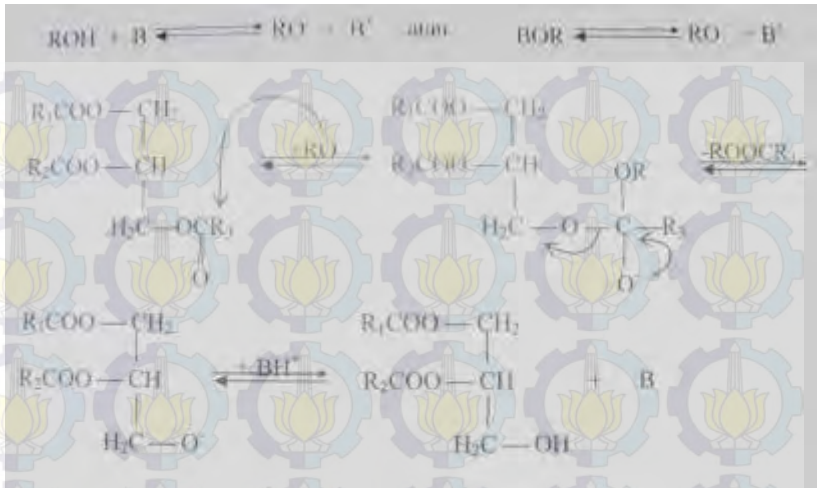
- a. Pengaruh air dan asam lemak bebas.
- b. Pengaruh perbandingan mol alkohol dengan minyak.

- c. Pengaruh daya pemanasan pada alat pemanas yang digunakan.
- d. Pengaruh waktu reaksi, jenis katalis dan temperatur.

Reaksi transesterifikasi dapat menurunkan viskositas dan titik bakar minyak yaitu dengan mereaksikan minyak tanaman dengan alkohol, biasanya metanol atau etanol menghasilkan ester dan gliserol. Ester dan gliserol mudah dipisahkan karena memiliki massa jenis yang berbeda dan secara alami gliserol akan mengendap pada bagian bawah.

Pada proses transesterifikasi baik dalam suasana asam maupun basa harus menghindari adanya air karena akan menghidrolisa ester. Dalam suasana asam dan suhu tinggi, ester akan terhidrolisa menjadi asam karboksilat dan alkohol, sedangkan dalam suasana basa, ester akan terhidrolisa menjadi sabun. Transesterifikasi minyak pada suasana basa berlangsung dengan laju reaksi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan reaksi pada suasana asam. Selain itu katalis basa umumnya lebih tidak korosif terhadap logam bila dibandingkan dengan katalis asam sehingga katalis basa lebih banyak digunakan (Schuchardt, *et al.*, 1998).

Proses dengan menggunakan katalis basa seperti Sodium hidroksida umumnya berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan katalis asam dikarenakan reaksi berlangsung searah. Namun pemakaian katalis basa hanya berlangsung sempurna bila minyak atau lemak dalam kondisi netral dan tanpa air (Freedman, *et al.*, 1986). Alkoksida logam alkali merupakan katalis yang aktif. Laju reaksi transesterifikasi tergantung dari nilai konstanta keseimbangan dimana tergantung pada tekanan, temperatur, katalisator serta konsentrasi zat pereaksi dan konsentrasi hasil reaksi. Reaksi trigliserida dengan alkohol menjadi ester dan gliserol tidak berlangsung sekaligus melainkan melalui langkah-langkah perubahan dari trigliserida menjadi digliserida, digliserida menjadi monogliserida dan monogliserida menjadi alkil ester. Langkah-langkah proses tersebut sebagaimana Gambar II.5.



Gambar II.5 Mekanisme transesterifikasi pada suasana basa

Penggunaan katalis basa tidak efektif apabila minyak mengandung asam lemak bebas (FFA) karena akan bereaksi dengan katalis membentuk sabun. Asam lemak bebas adalah asam lemak yang lepas dari ikatan gliserol disebabkan karena reaksi enzimatik dan mudah bereaksi dengan basa membentuk sabun. Terbentuknya sabun di dalam reaktor akan menghambat reaksi transesterifikasi sehingga tidak seluruh minyak sawit bisa dikonversikan menjadi ester dan gliserol. Tabel 2.6.

Tabel II.6 Presentase Ester yang Terbentuk Berkaitan dengan Kandungan FFA pada Transesterifikasi pada Suasana Basa

FFA bahan baku (%)	Presentase Ester
1,97	90,01
3,93	85,92
5,31	82,69
6,76	71,01
8,58	66,38
10,41	59,31
11,97	Transesterifikasi gagal
13,46	Transesterifikasi gagal

Memperlihatkan hubungan antara kandungan FFA dengan presentase ester yang terbentuk. Semakin tinggi kandungan FFA semakin sedikit ester yang dapat terbentuk dan semakin tidak efektif proses transesterifikasi. Pada kandungan FFA lebih besar sama dengan 11,97% reaksi transesterifikasi tidak berhasil. Berdasarkan tabel tersebut disarankan hanya pada kisaran di bawah 2 - 5% FFA dapat dinetralisir dan dilanjutkan dengan transesterifikasi bertahap yaitu diawali proses pada suasana asam dilanjutkan dengan transesterifikasi pada suasana basa. Langkah awal transesterifikasi bertahap adalah esterifikasi asam lemak bebas pada suasana asam menghasilkan ester. Setelah seluruh asam lemak bebas dikonversikan menjadi ester dilanjutkan dengan transesterifikasi menggunakan katalis basa.

II.3.1. Reaktor Batch pada Proses Transesterifikasi

Didalam reaktor batch, reaktan dan katalis baik homogen maupun heterogen dimasukkan secara serentak kedalam reaktor, diaduk pada kondisi yang sudah ditentukan kemudian setelah waktu tertentu produk dikeluarkan dari reaktor, kemudian produk dipisah dari produk samping dan dicuci. Reaktor batch biasanya digunakan untuk reaksi fase cair dengan kapasitas produksi yang kecil.

Umumnya pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi dengan metode batch, dimana proses tersebut terjadi pencampuran serta pengadukan antara bahan baku utama biodiesel dengan katalis secara bersamaan dan adanya proses pendiaman dalam selang waktu tertentu sampai terbentuk 2 lapisan (Henry, 2011).

Keuntungan :

- Ongkos atau harga instrumentasi rendah
- Lebih mudah pengoperasiannya
- Reaktor ini dapat digunakan untuk reaksi yang menggunakan campuran kuat atau beracun

Kerugian :

- Tidak begitu baik untuk reaksi fase gas (mudah terjadi kebocoran pada lubang pengaduk).
- Waktu yang dibutuhkan lama, tidak produktif (untuk pengisian, pemanasan zat pereaksi, pendinginan zat hasil, pembersihan reaktor, waktu reaksi).

(<http://www.slideshare.net/JhonAlmerPasaribu/batch-reactor>)

II.4 Karakteristik Katalis

Suatu reaksi dapat dipercepat dengan berbagai cara, yaitu : Meningkatkan temperatur reaksi, meningkatkan konsentrasi atau tekanan parsial reaktan, meningkatkan kemungkinan tumbukan antar reaktan dan menurunkan energi pengaktifan. Sesuai dengan fungsinya, katalis dapat mempercepat laju reaksi karena kemampuannya dalam berinteraksi dengan paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif tanpa ikut terkonsumsi menjadi produk dan katalis tidak mempengaruhi sifat termodinamika reaksi, karena :

- Katalis tidak dapat menggeser kesetimbangan reaksi.
- Katalis mempercepat reaksi ke kanan juga ke kiri.
- Katalis hanya mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan.

Katalis adalah substansi yang berpengaruh pada laju reaksi tetapi hasil dari proses itu sendiri tidak mengalami perubahan begitu juga dengan kesetimbangan. Katalis dapat meningkatkan laju reaksi karena terjadi perubahan lintasan molekular atau mekanisme dari reaksi untuk memperoleh produk tertentu. Maka katalis sangat besar pengaruhnya pada *yield* yang diharapkan (Zabeti, 2010). Katalisis melibatkan proses siklus sebagai berikut:

1. Site atau tempat yang berada pada permukaan katalis membentuk kompleks dengan reaktan.
2. Produk atau hasil dilepaskan dari site tersebut.

3. Site kembali kosong dan siap memulai siklus baru.

Pada umumnya ada tiga macam komponen katalis ini yaitu :

1. Komponen aktif (inti aktif), Fungsinya membantu berlangsungnya reaksi kimia dari reaktan untuk membentuk produk. Contoh inti aktif dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel II.7 Klasifikasi Komponen Aktif

Golongan	Konduktivitas	Reaksi	Contoh
Logam	Konduktor/ Redoks	Hidrogenasi, Hidrogenolisi, Oksidasi	Fe, Ni, Pt, Pd, Cu, Ag
*Oksida Sulfida	Semikonduktor	Hidrogenolisi, Oksidasi	NiO, ZnO, CuO
Oksida- oksida	Insulator	Polimerisasi, Isomerisasi, Dehidrasi, Cracking	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO, SiO ₂ -Al ₂ O ₃

2. Komponen penunjang (support atau pengemban), Komponen ini berfungsi menjaga luas permukaan yang tinggi bagi komponen aktif dan dapat juga berfungsi sebagai komponen aktif. Contoh Support yang sering dipakai yaitu γ -Al₂O₃, SiO₂, C (activated), Diatomaceous clay, SiO₂-Al₂O₃ (Zeolit). Klasifikasi support secara lengkap pada tabel 2.8 berikut:

Tabel II.8 Klasifikasi Support / Pengemban

Tipe	Oksida
Basa	MgO, CaO, Ca ₂ SiO ₄ , BaO, Ca ₃ SiO ₅
Amfoter	ThO ₂ , ZrO ₂ , CeO ₂ , TiO ₂
Netral	MgAl ₂ O ₄ , mgCrO ₄
Asam	γ -Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , SiO ₂ -Al ₂ O ₃

Kriteria pemilihan pengemban (support) pada katalis : Bersifat inert, Luas permukaan relatif tinggi dengan ukuran pori terdistribusi dengan baik, Memiliki sifat mekanik yang

baik, tahan terhadap gesekan dan penekanan, stabil dalam kondisi reaksi, per-treatment, dan regenerasi serta relatif murah dan mudah diperoleh.

3. Promotor, komponen promotor ditambahkan dalam jumlah sedikit dan fungsinya untuk aktivitas, selektivitas atau stabilitas yang diharapkan. Contoh penyangga yang mempunyai sifat khas antara lain :

- Pengemban Silika (SiO_2), bersifat netral dengan luas permukaan $150 - 800 \text{ m}^2/\text{gram}$.
- Pengemban Alumina (Al_2O_3), bersifat asam dan luas permukaannya $250 - 350 \text{ m}^2/\text{gram}$.
- Pengemban Zeolit ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), sifatnya merupakan kombinasi sifat alumina dan silica

Tahapan dalam suatu reaksi katalitik yaitu :

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Eksternal Diffusion | 5. Desorption |
| 2. Internal Diffusion | 6. Internal Diffusion |
| 3. Adsorption | 7. External Diffusion |
| 4. Surface Reaction | |

Berdasarkan fasa katalis, reaktan dan produk reaksi, katalis dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis katalis, yaitu :

1. Katalis homogen, yaitu katalis yang berfasa sama dengan fasa campuran reaksinya.
2. Katalis heterogen, yaitu katalis yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya.

Pada katalis homogen dan katalis heterogen memiliki perbedaan karakteristik dan perbedaan tahapan reaksi katalitik. Hal ini dapat dilihat pada tabel II.9 dibawah ini.

Tabel II.9 Perbandingan Katalis Homogen dan Heterogen

Katalis Homogen	Katalis Heterogen
1. Fasa cair atau gas	1. Fasa padat.
2. Setiap molekul katalis aktif sebagai katalis.	2. Memiliki pusat aktif yang tidak seragam.
3. Aktivitas dan selektivitas tinggi.	3. Aktivitas dan selektivitas rendah-tinggi.
4. Tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.	4. Dapat mudah teracuni oleh adanya kotoran
5. Sukar dipisahkan dari campuran reaksi.	5. Mudah dipisahkan dari campuran reaksi.
6. Mudah terurai pada temperatur tinggi	6. Stabil pada temperatur tinggi.

Katalis homogen adalah katalis yang satu fase dengan reaktan dan produknya, seperti katalis asam klorida (HCl) dalam reaksi antara asam asetat dengan etanol membentuk ester etil asetat dan berlangsung dalam satu sistem larutan yaitu dalam fase cair / liquid dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Katalis heterogen adalah katalis yang fasenya berbeda dengan fase pelarutnya. Keuntungan menggunakan katalis heterogen diantaranya : katalis dapat diregenerasi sehingga mengurangi biaya pembelian katalis, proses pemisahannya mudah sehingga mengurangi biaya produksi, mengurangi terbentuknya limbah, sehingga lebih ramah lingkungan, menghasilkan ester dan gliserol berkualitas tinggi. Karakteristik katalis heterogen yang dibutuhkan adalah katalis yang mempunyai aktifitas yang tinggi, stabil, kuat dan mempunyai luas permukaan yang besar (Knozinger, 2009).

Tahap Reaksi Katalitik Heterogen adalah pusat aktif katalis heterogen terutama berada pada permukaan pori-pori di dalam

padatan, sehingga untuk dapat berinteraksi dengan pusat aktif katalis, reaktan harus terlebih dahulu berpindah dari fasa fluida ke permukaan luar katalis dan kemudian menyusuri pori-pori menuju ke pusat aktif di permukaan dalam katalis.

Katalis tersebut kebanyakan berupa metal yang bisa berdiri sendiri ataupun berupa oksidanya, atau merupakan gabungan oksida dua logam. Secara fisik katalis tersebut ukurannya kecil atau mikroporous dengan luas permukaan yang besar yaitu 100 m²/gr. Penggunaan katalis heterogen pada bahan bakar pertama kali dilakukan oleh Bergius pada tahun 1913 untuk mencairkan batubara dengan cara hidrogenasi, yang selanjutnya Fisher dan Tropash menggunakannya dalam pembuatan hidrokarbon sintesis dari CO dan hidrogen. Pada tahun 1936 Houdry mengaplikasikan katalis heterogen dalam skala industri pada proses *cracking crude petroleum*. Namun pada saat ini katalis heterogen dapat juga digunakan sebagai katalis polimerisasi dari olefin menjadi polimer cair yang diikuti dengan membentuk C8-hidrokarbon dengan cara alkilasi.

II.4.1 Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

a. Sifat fisik

Rumus Molekul	:	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
Berat Molekul	:	101,96 kg/kgmol
Titik didih	:	2977°C
Titik beku	:	2072°C
Densitas	:	3,95-4,1 g/cm ³
Warna	:	putih

b. Sifat kimia



Gambar II.6 Gamma Alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Alumina merupakan oksida aluminium dan mempunyai sifat sebagai insulator panas dan insulator listrik yang baik dan tahan terhadap temperature tinggi, sehingga sering dipakai sebagai katalis atau zat padatan pendukung katalis. Zat padat pendukung dapat meningkatkan stabilitas dan memperluas permukaan fasa aktif katalis dengan terjadinya dispersi pada permukaan pendukungnya. Luas permukaan padatan katalis yang sangat besar sangat diperlukan dalam reaksi katalitik. Reaksi katalitik yang berlangsung pada permukaan mengalami peningkatan sebanding dengan luas permukaan katalis.

Alumina terdapat dalam dua bentuk, yaitu anhidrat dan terhidrat. Dalam bentuk hidrat (aluminium hidroksida), terdiri dari kandungan gugus hidroksida dan oksida hidroksida. Senyawa yang termasuk golongan alumina hidrat antara lain Gibbsite (α -aluminium trihidrat / $\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$), Bayerite (β -aluminium trihidrat / $\beta\text{-Al}(\text{OH})_3$), dan Boehmite (α aluminium oksida hidroksida / $\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$), dan gel alumina. Sedangkan dalam bentuk anhidratnya, alumina terbagi menjadi dua, yaitu alumina stabil atau $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang mempunyai struktur heksagonal dan alumina transisi disebut juga alumina metastabil, karena fasa alumina ini dapat diubah menjadi fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan pemanasan lebih lanjut. Berdasarkan kisaran suhu pemanasan-nya, alumina transisi dibedakan menjadi 2, yaitu kelompok $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (χ -, η -, dan

γ - Al_2O_3) dan kelompok δ - Al_2O_3 (κ -, θ -, dan δ - Al_2O_3) (Anonim, 2015).

II.4.2 Kalium hidroksida (KOH)

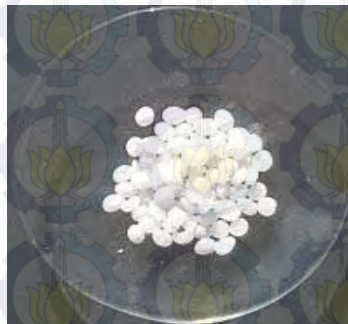
Kalium hidroksida (KOH) disebut juga potasy caustic (kalium hidrat), yang terbentuk dari oksida basa dan membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air.

a. Sifat fisika

1. Berbentuk putih padat
2. Tersedia juga dalam bentuk pelet, serpihan ataupun butiran.
3. Berat molekul : 56,11 g / mol
4. Densitas : 2,044 g/cm³, padat
5. Titik lebur : 406 °C (679 K)
6. Titik didih : 1320 °C (1573 K)

b. Sifat kimia

1. Larut dalam air / pelarut cair.
2. Bersifat higroskopis tetapi tidak mudah terbakar.
3. KOH merupakan golongan basa kuat.



Gambar II.7 KOH

Kalium hidroksida bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. Ia sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan, karena pada proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. KOH juga larut dalam etanol dan metanol, tetapi

tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya (Anonim, 2015).

II.5 Metanol

Alkohol yang biasa digunakan pada pembuatan biodiesel adalah metanol dan etanol. Metanol memiliki kelebihan lebih mudah bereaksi dan lebih stabil bila dibandingkan dengan etanol, sedangkan kelemahan dari metanol adalah merupakan zat yang beracun dan berbahaya, sangat mudah terbakar dan bahkan lebih mudah terbakar bila dibandingkan dengan bensin. Metanol disebut juga dengan metil alkohol yaitu merupakan senyawa organik yang paling sederhana dari alkohol. Formula molekulnya adalah CH_3OH . Metanol mempunyai bilangan oktan yang tinggi. Metanol pada umumnya dibuat dari gas alam, dapat juga dihasilkan dari *biomass*.

Metanol berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar, dan mudah bercampur dengan air. Metanol dan etanol yang dapat digunakan hanya yang murni 100%. Metanol merupakan alkohol yang paling banyak digunakan dalam pembuatan biodiesel. Metanol disukai karena hanya memiliki satu rantai ikatan karbon, sedangkan etanol memiliki dua ikatan karbon. Metanol lebih murah dan lebih mudah dalam proses pemisahan gliserin bila dibandingkan dengan etanol. Etanol memiliki sifat yang sama dengan metanol yaitu memiliki warna yang bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah tercampur dengan air. Pemisahan gliserin dengan menggunakan etanol lebih sulit dibandingkan dengan metanol, dan apabila tidak berhati-hati akan menimbulkan emulsi.

Sifat Fisika

Berat Molekul	: 32,04 kg/kgmol
Sp.gr	: 0,791
Kekentalan	: 0,86 cP
Titik didih	: 64,7 °C
Titik nyala	: 15,6 °C
Titik leleh	: -97,68 °C

Suhu <i>Autoignition</i>	: 464 °C
Panas Penguapan	: 1128,8 kJ/kg
Suhu Kritis (Tc)	: 239,49 °C
Tekanan Kritis (Pc)	: 79,94 atm
Cp (<i>Liquid</i>)	: 81,08 J/gmol.K

Sifat Kimia

- Berwarna bening seperti air dan mudah menguap.
- Mudah bercampur dengan air dengan kelarutan dalam air (1g / 100g air) : tak tehingga, bersifat polar.
- Metanol merupakan zat yang mudah terbakar dan bersifat eksplosif ketika bercampur dengan udara. (Corp., Methanex. 2006)

II.6 Parameter yang Digunakan dalam Penentuan Karakteristik Biodiesel

Beberapa parameter dalam biodiesel diantaranya (Atabani, dkk, 2011) :

a. Viskositas Kinematik

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan terhadap gaya gravitasi. Viskositas yang tinggi menunjukkan sifat pelumasan yang lebih baik. Pada umumnya bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula.

b. Flash Point

Flash Point adalah temperatur dimana pada temperatur tersebut akan memicu pembakaran saat terkena api. Hal ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Jika *flash point* terlalu rendah dapat menyebabkan bahaya api. Oleh karena itu *flash point* sebaiknya ditingkatkan di atas nilai minimum yang diizinkan.

c. Densitas

Densitas adalah perbandingan jumlah massa suatu zat terhadap volumenya. Untuk mengukur densitas liquid dapat menggunakan hydrometer. Adapun alat yang lebih sering digunakan adalah piknometer. Densitas dapat berubah, tergantung pada tekanan atau temperatur.

d. Titik Kabut dan Titik Tuang

Titik kabut adalah temperatur dimana pertama kali muncul kristal-kristal saat bahan bakar didinginkan. Meski bahan bakar masih dapat mengalir pada suhu ini, keberadaan kristal dalam bahan bakar dapat memengaruhi kelancaran aliran bahan bakar dalam filter, pompa, dan injektor. Sedangkan titik tuang adalah temperatur terendah yang masih memungkinkan bahan bakar masih dapat mengalir atau temperatur dimana bahan bakar mulai membeku atau mulai berhenti mengalir. Di bawah titik tuang bahan bakar tidak dapat lagi mengalir karena terbentuknya kristal yang menyumbat aliran bahan bakar.

e. Bilangan Iodin

Bilangan Iodin menunjukkan tingkat ketidakjenuhan atau banyaknya ikatan rangkap asam lemak penyusun biodisel. Biodisel dengan kandungan bilangan iod yang tinggi akan mengakibatkan pembentukan deposit pada *injector nozzle* dan cincin piston pada saat mulai pembakaran

f. Kadar Air

Kadar air dalam minyak merupakan salah satu tolok ukur mutu minyak. Makin kecil kadar air dalam minyak maka mutunya makin baik. Hal ini dapat memperkecil kemungkinan terjadinya reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas. Kandungan air dalam bahan bakar juga dapat menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbusa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam.

g. Angka Setana

Bilangan setana menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang dapat diinjeksikan ke ruang bahan bakar agar terbakar secara spontan. Bilangan setana dari biodisel

dipengaruhi oleh struktur hidrokarbon penyusun. Semakin rendah bilangan setana maka semakin rendah pula kualitas penyalan karena memerlukan suhu penyalan yang lebih tinggi.

II.7 Penelitian Terdahulu

Tabel II.10 Hasil Penelitian Biodiesel Terdahulu

No	Peneliti	Judul Jurnal	Hasil
1	Maharani Nurul,dkk (2010)	Pembuatan biodiesel dari minyak dedak dan methanol dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi	Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur transesterifikasi 60 °C, waktu reaksi 120 menit dan menghasilkan yield sebesar 68,80%
2	Nyoman Puspa Asri, dkk (2010)	Transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis CaO/ γ -Al ₂ O ₃	Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur transesterifikasi 75°C, waktu reaksi 7 jam dan jumlah katalis 6% berat dengan yield sebesar 64,95%.

3	Santi, dkk (2013)	Transesterifikasi minyak sawit menggunakan katalis promotor ganda berbasis γ - Al_2O_3 dalam reaktor kontinyu	Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur transesterifikasi 225°C dan laju alir umpan 6 ml/menit dengan menggunakan massa katalis 16 gram dan rasio molar 1 : 36 diperoleh yield sebesar 84,84%
4	Sunu R. Puspitaningati, dkk (2013)	Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina ($\text{CaO/KI}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) Dalam Reaktor <i>Fluidized Bed</i>	Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur transesterifikasi 225°C dan laju alir umpan 6 ml/menit dengan menggunakan massa katalis 16 gram dan rasio molar 1 : 36 diperoleh yield sebesar 97,19%
5	Ade Sonya Suryandari, dkk (2013)	Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (<i>Ceiba pentandra</i>) melalui Proses Transesterifikasi dengan Katalis MgO/CaO	Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur transesterifikasi 70°C , waktu reaksi 75 menit dan jumlah katalis 2% berat MgO dengan yield sebesar 55,22%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD diperlukan persiapan sebagai berikut :

III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan

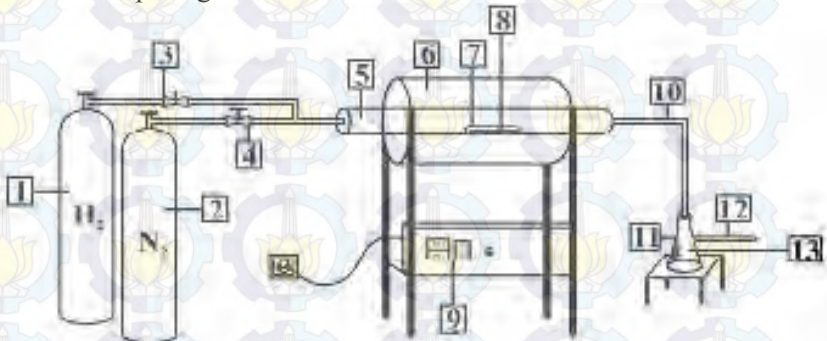
1. Minyak Kelapa Sawit yang sudah melewati proses RBD (*Refined, Bleaching and Deodorized*).
2. Metanol 99%
3. KOH
4. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
5. Aquadest

III.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi:

1. Peralatan untuk preparasi katalis

Peralatan yang digunakan dalam preparasi katalis meliputi glassware, oven dan kalsinasi. Rangkaian alat kalsinasi dapat dilihat seperti gambar 3.1

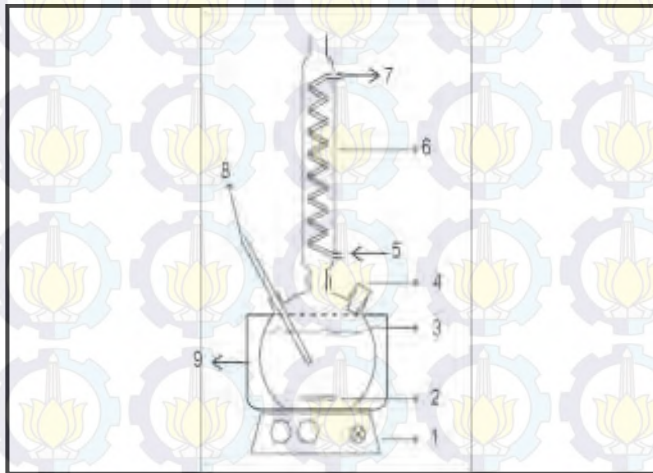


Gambar III.1 Peralatan Kalsinasi

Keterangan Gambar :

1. Tabung gas H_2
2. Tabung gas N_2
3. *Valve tube* gas H_2
4. *Valve tube* gas N_2
5. Reaktor kalsinasi
6. *Furnace*
7. *Nucelle*
8. Katalis
9. Panel control *furnace*
10. *Tube gas outlet*
11. Vakuumbest
12. Gas keluar

2. Peralatan untuk proses transesterifikasi pada reaktor *batch*



Gambar III.2. Rangkaian Reaktor *Batch*

Keterangan :

1. Stirer
2. Magnetic stirrer
3. Labu leher tiga

4. Karet sumbat
5. Air pendingin masuk
6. Kondensor reflux
7. Air pendingin keluar
8. Termometer
9. Oilbath

III.2 Variabel Percobaan

III.2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap pada proses preparasi katalis :

1. Jenis Katalis KOH
2. Kadar K 10% terhadap $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
3. Waktu kalsinasi : 4 jam
4. Suhu kalsinasi : 475°C
5. Rasio molar minyak dan metanol 1 : 9

III.2.2 Variabel Berubah

1. Berat katalis : 0,5, 1, dan 2 gram
2. Suhu reaksi : 60, 80, 100 $^\circ\text{C}$
3. Waktu : 0, 30, 60, 90, 120 menit

III.3 Parameter yang dianalisa

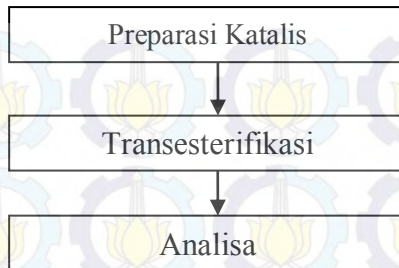
• Katalis

1. Luas Permukaan (BET).
2. XRD

• Produk

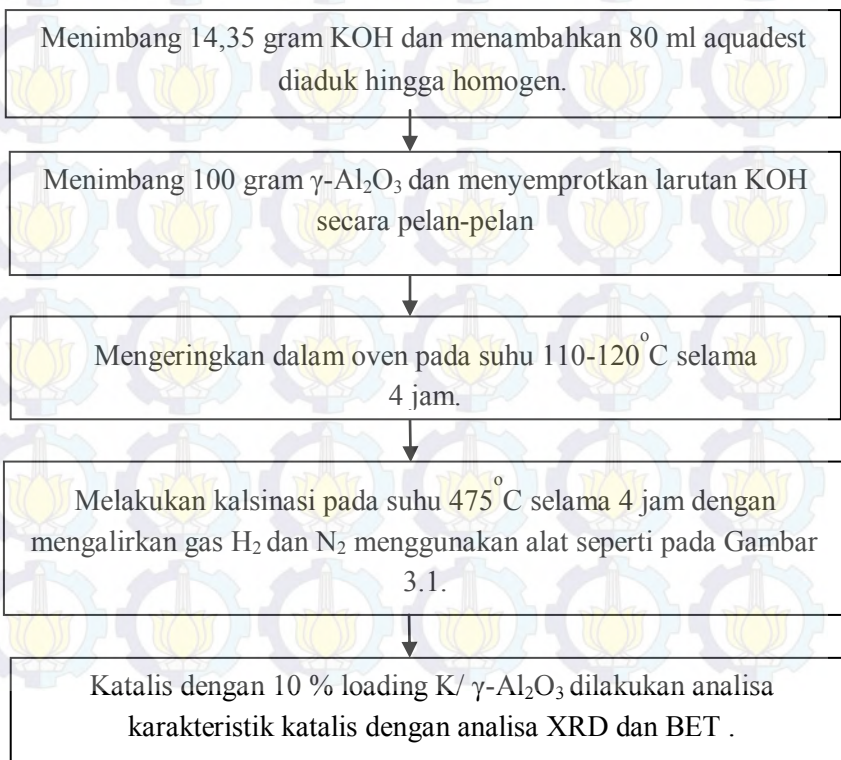
1. Yield FAME (untuk menentukan kemurnian biodiesel)
2. Densitas
3. Viskositas

III.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar III.3 Diagram alir penelitian

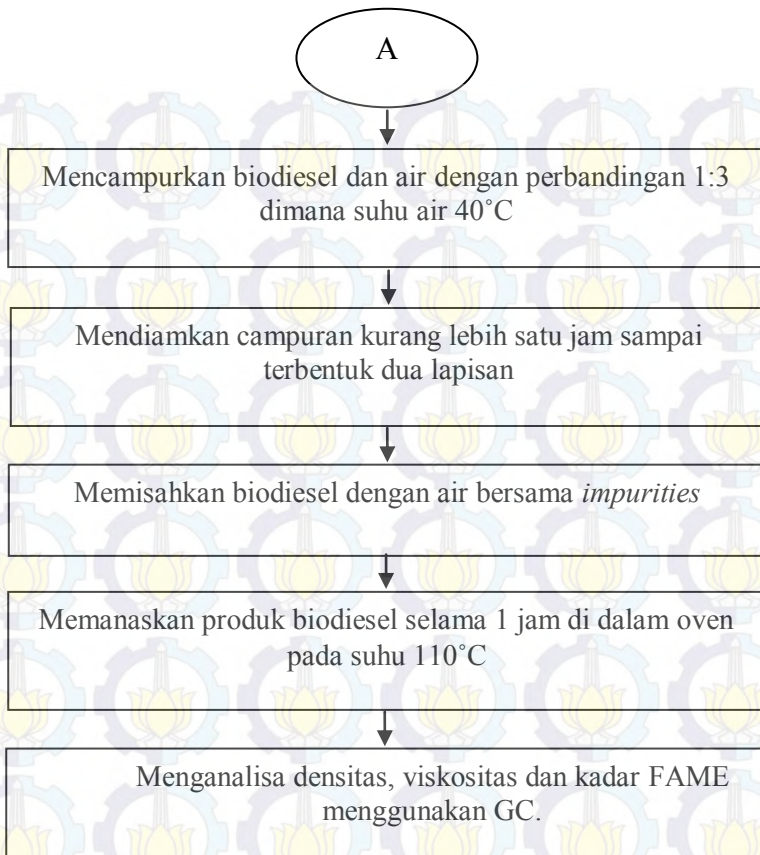
III.4.1 Preparasi Katalis K/ γ - Al_2O_3



Gambar III.4 Skema Preparasi Katalis

III.4.2 Skema Proses Transesterifikasi dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor Batch

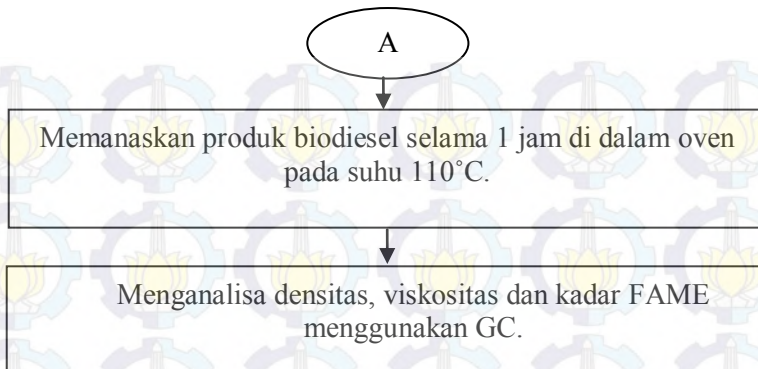




Gambar III.5 Skema Proses Transesterifikasi dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor *Batch*

III.4.3 Skema Proses Transesterifikasi dengan Katalis Heterogen K/ γ -Al₂O₃ pada Reaktor Batch





Gambar III.6 Skema Proses Transesterifikasi dengan Katalis Homogen K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada Reaktor *Batch*

III.5 Prosedur penelitian

III.5.1 Preparasi katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

1. Menimbang 14,35 gram KOH dan menambahkan 80 ml aquadest diaduk hingga homogen.
2. Menimbang 100 gram $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan menyemprotkan larutan KOH secara pelan-pelan.
3. Mengeringkan dalam oven pada suhu 110-120 °C selama 4 jam.
4. Melakukan kalsinasi dengan temperatur 475 °C selama 4 jam dengan mengalirkan gas H_2 dan N_2 menggunakan alat seperti pada Gambar 3.1.
5. Katalis dengan 10 % loading K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dilakukan analisa karakteristik katalis dengan analisa XRD dan BET.

III.5.2 Prosedur Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Homogen KOH pada Reaktor *Batch*

1. Menyusun peralatan transesterifikasi seperti pada gambar III.2.

2. Mencampur larutan campuran metanol dengan katalis dengan minyak kelapa dengan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer magnetic*.
3. Mengatur suhu awal dan waktu pemanasan di dalam reaktor *batch* sesuai dengan variable.
4. Memanaskan campuran di dalam reaktor *batch* dengan waktu sesuai dengan variable.
5. Menghentikan pemanas dan pengadukan.
6. Mendinginkan dan mendinginkan campuran hingga terbentuk dua lapisan.
7. Memisahkan lapisan atas (biodiesel) dari lapisan bawah (gliserol) dengan corong pemisah.
8. Mencampurkan biodiesel dan air dengan perbandingan 1:3 dimana suhu air 40°C.
9. Mendinginkan campuran kurang lebih satu jam sampai terbentuk dua lapisan.
10. Memisahkan biodiesel dengan air bersama *impurities*.
11. Memanaskan produk biodiesel selama 1 jam di dalam oven pada suhu 110°C.
12. Menganalisa densitas, viskositas dan kadar FAME menggunakan GC.

III.5.3 Prosedur Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Katalis Heterogen K/ γ -Al₂O₃ pada Reaktor Batch

1. Menyusun peralatan transesterifikasi seperti pada gambar III.2.
2. Mencampur larutan campuran metanol dengan katalis dengan minyak kelapa dengan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer magnetic*.
3. Mengatur suhu awal dan waktu pemanasan di dalam reaktor *batch* sesuai dengan variable
4. Memanaskan campuran di dalam reaktor *batch* dengan waktu sesuai dengan variable.
5. Menghentikan pemanas dan pengadukan.

6. Mendiamkan dan mendinginkan campuran hingga terbentuk dua lapisan.
7. Memisahkan lapisan atas (biodiesel) dari lapisan bawah (gliserol) tanpa melalui proses pencucian karena gliserol telah memadat dan terpisah sempurna.
8. Memanaskan produk biodiesel selama 1 jam di dalam oven pada suhu 110°C .
9. Menganalisa densitas, viskositas dan kadar FAME menggunakan GC.

III.6 Teknik analisa data dan penyimpulan

Analisa biodisel meliputi : analisa kadar FAME dengan gas kromatografi (GC), analisa massa jenis dan analisa viskositas dengan viskometer Ostwald.

Katalis yang didapat dianalisa dengan metode *Brunauer Emmett Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan volume pori katalis, *X-Ray Diffraction* untuk melihat kristalinitas katalis dan untuk mengetahui unsur-unsur yang dikandung katalis.

Biodisel yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis padat dianalisa dengan metode GC untuk mengetahui komponen-komponen dari biodisel baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Parameter yang diukur adalah *yield* biodisel dan konversi minyak sawit dalam %.

$$\text{ield} \frac{\text{massa M}}{\text{massa bahan ba u}} 100\% \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol minyak bereaksi x kadar FAME}}{\text{mol mula-mula x 3}} 100\% \quad \dots\dots(2)$$

Keterangan :

- Massa FAME didapatkan dari massa mula - mula dikurangi 13 ml (volume *sampling*) dikalikan dengan densitas pada saat t menit.

- Massa bahan baku didapatkan dengan cara volume minyak mula-mula dikalikan dengan densitas minyak mula-mula.
- Maka yield dapat dihitung menggunakan persamaan (1)
- Mol minyak yang terpakai dengan cara massa produk dikali kadar FAME kemudian dibagi dengan BM produk. Maka mol minyak adalah $\frac{1}{3}$ dari FAME yang terbentuk
- Mol minyak awal adalah massa minyak mula-mula dibagi dengan BM minyak
- Maka konversi dapat dihitung menggunakan persamaan (2)

Untuk menganalisis pengaruh variabel terhadap parameter yang diuji maka dilakukan plotting data antara :

1. % *yield* biodiesel vs massa katalis dan % konversi biodiesel vs massa katalis
2. % *yield* biodisel vs waktu dan % konversi biodisel vs waktu.

Hasil analisa produk yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) biodiesel. Dari hasil pengolahan data, diharapkan diperoleh kesimpulan tentang pengaruh massa katalis, suhu dan waktu dalam reaktor yang paling optimal untuk menghasilkan *yield* dan konversi yang tinggi.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan minyak kelapa sawit yang telah mengalami proses RBD (*Refined, Bleached and Deodorized*) dengan merk dagang Bimoli. Kemudian dilakukan uji efektivitas katalis pada reaktor *batch* untuk mengetahui berat katalis terbaik. Setelah didapatkan berat katalis terbaik selanjutnya dilakukan produksi biodiesel pada reaktor *batch* dengan berbagai suhu dan waktu reaksi.

IV.1 Hasil Analisa GC pada Bahan Baku

Analisa *Gas Chromatography* (GC) bertujuan untuk mengetahui komponen asam lemak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit merk Bimoli sehingga berat molekul dari bahan baku dapat dihitung. Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 menunjukkan hasil analisa GCMS minyak kelapa sawit merk Bimoli.



Gambar IV.1 Grafik Hasil Uji GC Minyak Kelapa Sawit merk Bimoli

Tabel IV.1 Hasil Analisa GC Minyak Kelapa Sawit merk Bimoli

RT	Type	Area	Fatty Acid	Name of Fatty Acid
0.000		0.00000	0.000	C 8 Caprylic
0.000		0.00000	0.000	C10 Capric
2.666	BB	25.09736	0.262	C12 Lauric
3.494	BB	96.93257	1.012	C14 Myristic
5.000	BB	3655.41284	38.201	C16 Palmitic
7.612	PS	348.03732	3.637	C18 Stearic
8.182	BB	4398.03271	45.962	C18:1 Oleic
9.098	PS	1045.53381	10.926	C18:2 Linoleic
Totals:			100 %	

*** End of Report ***

Berdasarkan hasil analisa GC di atas, diketahui bahwa komposisi asam lemak minyak kelapa sawit merk Bimoli didominasi oleh *palmitic acid* dan *oleic acid* masing-masing sebesar 38,201% dan 45,962%. Hasil ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa asam lemak yang dominan dalam minyak kelapa sawit adalah asam palmitat sebesar 38% - 46% dan asam oleat sebesar 30% - 45% (Pasaribu, 2004).

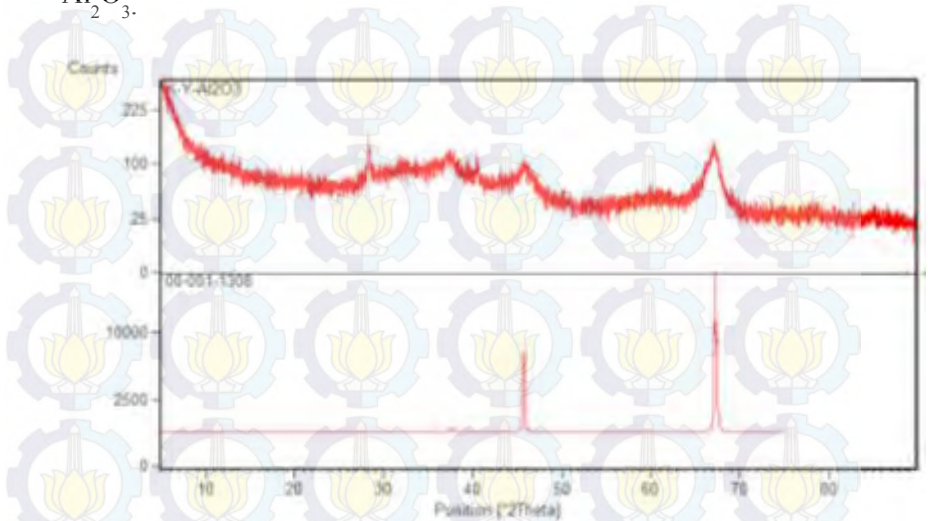
Dengan diketahuinya komponen asam lemak, maka berat molekul dari minyak kelapa sawit dapat dihitung. Dari hasil perhitungan didapatkan berat molekul minyak kelapa sawit sebesar 850,32 g/gmol. Berat molekul dari perhitungan ini telah mendekati berat molekul minyak kelapa sawit yang didapatkan dari literatur, yaitu 848,24 g/gmol (Serio, 2008) dan 849,5 g/gmol (Leevijit, 2004).

IV.2 Hasil Analisa Katalis

IV.2.1 Hasil Analisa XRD Katalis $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui kristalinitas katalis. Gambar IV.3 menunjukkan hasil

analisa XRD katalis K/ γ -Al₂O₃ dengan 10% loading K terhadap γ -Al₂O₃.



Gambar IV.2 Hasil Analisa XRD untuk Katalis K/ γ -Al₂O₃ (10% loading K terhadap γ -Al₂O₃)

Dari hasil analisa XRD yang ditunjukkan pada Gambar IV.2 terlihat bahwa γ -Al₂O₃ memiliki puncak yang tidak tajam dan cenderung lebar, hal ini mengindikasikan bahwa support γ -Al₂O₃ bersifat amorf. Katalis 10% K/ γ -Al₂O₃ menunjukkan peak $2\theta = 28,386^\circ$; $40,577^\circ$; $45,774^\circ$; $47,095^\circ$; dan $67,221^\circ$. Berdasarkan ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) 00-001-1308 Gamma Alumina (γ -Al₂O₃), sistem kristal ini membentuk pola kubik dengan indeks hkl 4 4 0, posisi peak $2\theta = 67,307^\circ$ dan indeks hkl 4 0 0 dengan posisi peak $2\theta = 45,790^\circ$. Pada penelitian ini sesuai dengan ICDD, didapatkan peak 2θ katalis K / γ -Al₂O₃ (10%) = $45,774^\circ$ dan $67,221^\circ$.

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, pola XRD identik dengan γ -Al₂O₃. Hal ini menunjukkan KOH terdispersi

dengan baik pada support $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan berhasil terdekomposisi menjadi K (Xie W, 2007).

IV.2.2 Hasil Analisa BET Katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

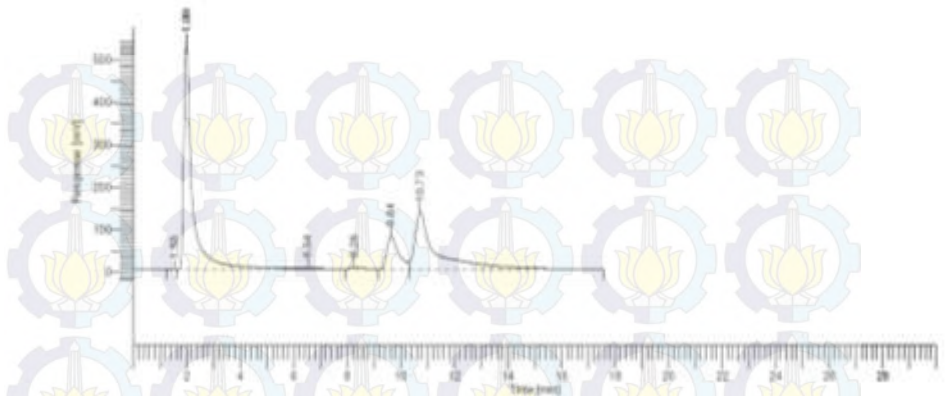
Analisa *Brunauer Emmett Teller* (BET) bertujuan untuk mengetahui luas permukaan katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Kemudian dari luas permukaan tersebut dapat dihitung diameter partikel katalis.

Berdasarkan hasil analisa BET diperoleh luas permukaan katalis K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebesar $59,538 \text{ m}^2/\text{g}$. Sedangkan luas permukaan *pure analytic grade* (PA) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dari *Merck* adalah $120 - 190 \text{ m}^2/\text{g}$. Ketika $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dipadukan dengan K, luas permukaan keseluruhan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada katalis mengalami penurunan. Hal ini disebabkan tertutupnya sebagian luas permukaan penyangga ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) oleh sisi aktif oksida logam (K). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa promotor K menempel pada support ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$).

IV.3 Uji Efektivitas Katalis pada Reaktor *Batch*

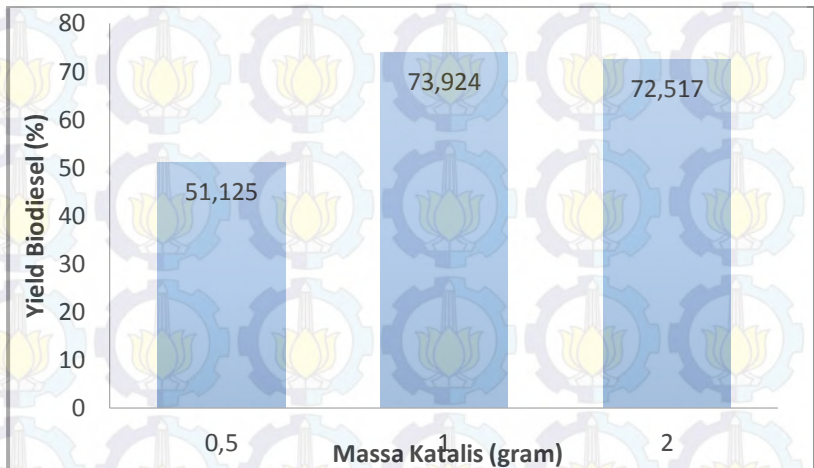
Uji efektivitas katalis pada reaktor *batch* bertujuan untuk menentukan komposisi katalis terbaik agar didapatkan yield tertinggi dari katalis KOH dan K/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Uji efektivitas dilakukan pada reaktor batch dengan suhu 60°C selama 2 jam. Penambahan metanol mengikuti rasio molar minyak dibanding metanol yaitu 1:9 dan massa katalis yang digunakan sebesar 0,5 gram, 1 gram, dan 2 gram.

Hasil uji efektivitas katalis dianalisa dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Berikut ini adalah grafik analisa dengan GC untuk komposisi 1 gram KOH. Berdasarkan hasil analisa didapatkan kadar FAME dalam produk sebesar 79,10%.

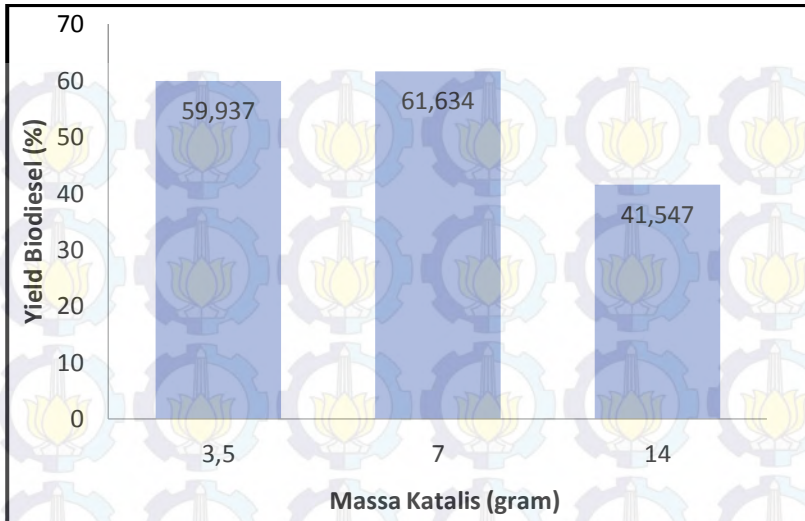


Gambar IV.3 Hasil Analisa GC Produk Biodiesel dengan Katalis KOH 1 gram

Hasil perhitungan *yield* pada masing-masing katalis dapat dilihat dalam grafik sebagai berikut :



Gambar IV.4 Hasil Perhitungan *Yield* untuk Katalis KOH



Gambar IV.5 Hasil Perhitungan *Yield* untuk Katalis K/ γ -Al₂O₃

Dari gambar IV.4 dan gambar IV.5 dapat diketahui bahwa komposisi katalis merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya *yield* dalam proses produksi FAME. Dari data diatas menunjukkan bahwa kenaikan *yield* biodiesel meningkat dengan adanya penambahan katalis. Pada gambar IV.4 massa katalis optimum adalah 1 gram dengan *yield* biodiesel sebesar 73,924%. Sedangkan pada gambar IV.5 diperoleh massa katalis optimum 7 gram dengan *yield* sebesar 61,634%.

Pada gambar IV.4 terlihat bahwa penambahan jumlah katalis setelah dicapai kondisi optimum (1 gram) tidak mengakibatkan *yield* biodiesel meningkat. Hal ini disebabkan karena penggunaan katalis yang berlebihan dapat menyebabkan terbentuknya emulsi akibat reaksi penyabunan (Yoeswono et al.,2007). Kondisi yang sama terjadi pada gambar IV.5 terlihat bahwa *yield* biodiesel menurun ketika jumlah katalis lebih dari 7 gram. Penambahan jumlah katalis menyebabkan campuran menjadi kental (viscous), sehingga menyebabkan masalah pada

saat pencampuran antara reaktan dan katalis padat. Konsumsi katalis yang tinggi mengakibatkan produk biodiesel akan teradsorpsi pada permukaan katalis, sehingga akan mengurangi *yield* biodiesel selama reaksi transesterifikasi (M. Farooq et al, 2013). Berdasarkan hasil diatas, diperoleh komposisi katalis dengan *yield* optimum yaitu katalis KOH 1 gram dan K/ γ -Al₂O₃ 7 gram. Komposisi katalis ini kemudian digunakan untuk produksi biodiesel selanjutnya.

IV.4 Produksi Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi pada Reaktor *Batch*

Penelitian ini akan dipelajari pengaruh suhu dan waktu reaksi untuk proses pembuatan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) pada reaktor *batch*. Variabel tetap pada penelitian ini adalah molar rasio minyak dibanding metanol yaitu 1:9. Katalis yang digunakan adalah katalis terbaik dari uji efektivitas yaitu KOH 1 gram dan K/ γ -Al₂O₃ 7 gram. Reaksi transesterifikasi untuk variabel suhu dioperasikan pada 60°C, 80°C dan 100°C. Untuk variabel waktu reaksi dioperasikan pada 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Adanya kombinasi variabel untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Produk dianalisa dengan metode *Gas Chromatography* (GC) untuk mengetahui kadar biodiesel. Dengan melakukan perhitungan antara kadar FAME dengan massa produk maka akan didapatkan *yield* FAME.

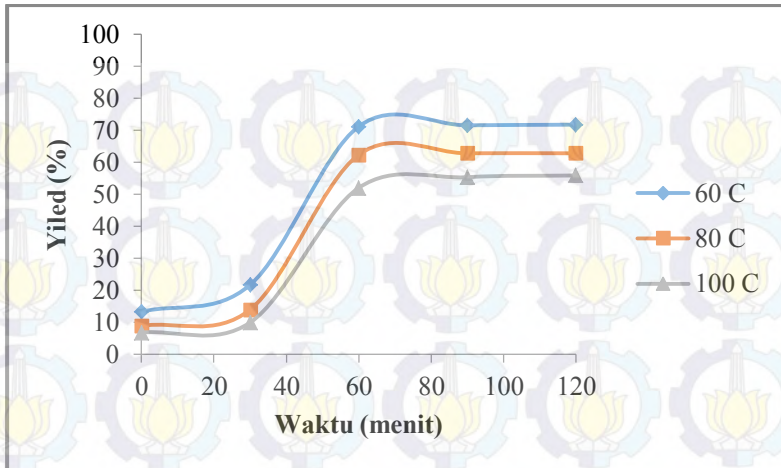
IV.4.1 Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Terhadap % Yield dan % Konversi Biodiesel

Berikut ini merupakan tabel dan grafik hubungan antara *yield* biodiesel (%) vs waktu reaksi (menit) dan konversi (%) biodiesel vs waktu reaksi (menit).

Tabel IV.2 Hasil Transesterifikasi dengan Katalis KOH pada Reaktor *Batch*

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Kadar FAME (%wt)	Yield (%)	Konversi (%)
60	0	15,37	13,344	13,303
	30	25,75	21,747	21,681
	60	85,22	71,165	70,950
	90	87,93	71,552	71,335
	120	89,95	71,752	71,535
80	0	10,37	8,959	8,932
	30	16,52	14,009	13,967
	60	73,84	62,327	62,138
	90	76,81	62,814	62,624
	120	78,56	62,812	62,622
100	0	7,13	6,865	6,845
	30	10,56	9,986	9,955
	60	59,33	52,011	51,854
	90	59,19	55,359	55,192
	120	68,42	55,892	55,723

Dari tabel IV.2 maka dapat dibuat grafik hubungan antara % *Yield* Biodiesel dengan waktu pada berbagai suhu, yaitu sebagai berikut.



Gambar IV.6 Grafik Hubungan Antara Waktu Reaksi dengan %Yield pada Berbagai Suhu Katalis KOH

Seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.6 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu reaksi transesterifikasi maka *yield* yang dihasilkan semakin besar. Dari waktu 30 menit ke 60 menit mengalami kenaikan *yield* yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak kontak yang terjadi antar molekul reaktan sehingga menghasilkan *yield* biodiesel yang lebih tinggi (Sivakumar dkk., 2013). Sedangkan dari waktu 60 menit ke 120 menit *yield* tidak mengalami kenaikan yang signifikan, kenaikan cenderung konstan. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan *yield* biodiesel akan naik seiring dengan bertambahnya waktu reaksi (Yan, 2008). Dari grafik diatas *yield* optimum untuk pembuatan FAME yaitu pada suhu 60 °C dan waktu reaksi 120 menit dengan *yield* sebesar 71,75 %.

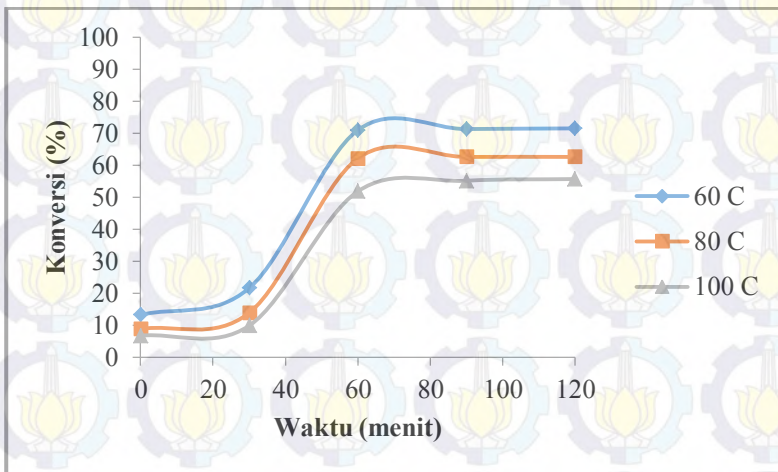
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.6 dapat diketahui bahwa semakin besar suhu reaksi maka *yield* biodiesel yang diperoleh semakin kecil. Suhu yang lebih tinggi dari 60 °C

akan menguapkan metanol dan menghasilkan kadar metil ester yang rendah sebab reaksi bersifat eksotermis, sehingga kenaikan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah pereaksi. Reaksi akan memberikan hasil yang optimum jika suhu berada dibawah titik didih metanol yaitu sekitar 64,7 °C. Hubungan antara suhu dan kecepatan reaksi dapat dilihat pada persamaan Arrhenius berikut :

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$$

dimana, nilai suhu (T) berbanding lurus dengan nilai k (konstanta kecepatan reaksi).

(Levenspiel,1999)



Gambar IV.7 Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %Konversi pada Berbagai Suhu

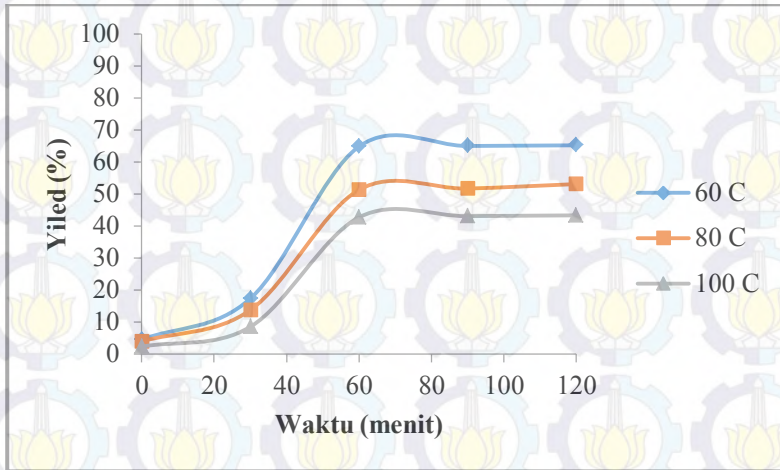
Seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.7 dapat diketahui bahwa penambahan waktu reaksi akan meningkatkan persen konversi biodiesel. Hal tersebut terlihat pada waktu 30 menit sampai dengan 60 menit konversi mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan reaksi yang berlangsung selama 30

menit. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan pada reaksi transesterifikasi penambahan waktu reaksi sangat menentukan besarnya konversi yang diperoleh. Semakin lama reaksi dijalankan, maka konversi yang dicapai semakin tinggi, karena kesempatan tumbukan antara molekul-molekul zat pereaksi makin besar (Sivakumar, 2012). Sedangkan pada waktu 60 menit sampai 120 menit hasil konversi reaksi cenderung konstan. Hal ini menunjukkan penambahan waktu reaksi tidak lagi memberikan peningkatan nilai konversi karena reaksi berada dalam keadaan setimbang (Leung et al., 2010). Dari grafik diatas konversi terbesar untuk pembuatan FAME menggunakan katalis KOH yaitu pada suhu 60 °C dan waktu reaksi 120 menit dengan konversi sebesar 71,535%.

Tabel IV.3 Hasil Transesterifikasi dengan Katalis K/ γ -Al₂O₃ pada Reaktor *Batch*

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Kadar FAME (%wt)	Yield (%)	Konversi (%)
60	0	5.37	4.614	4.600
	30	20.51	17.391	17.339
	60	78.93	64.824	64.628
	90	80.56	65.023	64.826
	120	82.57	65.231	65.034
80	0	4.67	4.028	4.016
	30	16.52	13.819	13.777
	60	61.49	51.302	51.147
	90	63.32	51.735	51.578
	120	66.48	53.129	52.968
100	0	2.55	2.387	2.380
	30	10.14	8.586	8.560
	60	54.77	42.732	42.602
	90	56.59	43.115	42.985
	120	58.96	43.375	43.243

Dari tabel IV.3 maka dapat dibuat grafik hubungan antara % *Yield* Biodiesel dengan waktu pada berbagai suhu, yaitu sebagai berikut.



Gambar IV.8 Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %*Yield* pada Berbagai Suhu Katalis K/ γ -Al₂O₃

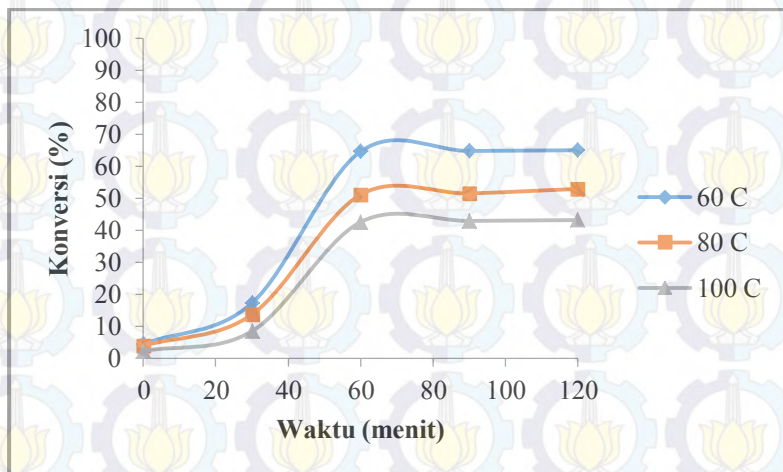
Seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.8 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu reaksi transesterifikasi maka *yield* yang dihasilkan semakin besar. Dari waktu 30 menit ke 60 menit mengalami kenaikan *yield* yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak kontak yang terjadi antar molekul reaktan sehingga menghasilkan *yield* biodiesel yang lebih tinggi (Sivakumar dkk., 2012). Sedangkan pada waktu 60 menit ke 120 menit *yield* tidak mengalami kenaikan yang signifikan, kenaikan cenderung konstan. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan *yield* biodiesel akan naik seiring dengan bertambahnya waktu reaksi (Yan, 2008). Dari grafik diatas *yield* optimum untuk pembuatan FAME yaitu pada suhu 60 °C dan waktu reaksi 120 menit dengan *yield* sebesar 65,231 %.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.8 dapat diketahui bahwa semakin besar suhu reaksi maka *yield* biodiesel yang diperoleh semakin kecil. Suhu yang lebih tinggi dari 60 °C akan menguapkan metanol dan menghasilkan kadar metil ester yang rendah sebab reaksi bersifat eksotermis, sehingga kenaikan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah pereaksi. Reaksi akan memberikan hasil yang optimum jika suhu berada dibawah titik didih metanol yaitu sekitar 64,7 °C. Hubungan antara suhu dan kecepatan reaksi dapat dilihat pada persamaan Arrhenius berikut :

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$$

dimana, nilai suhu (T) berbanding lurus dengan nilai k (konstanta kecepatan reaksi).

(Levenspiel,1999)



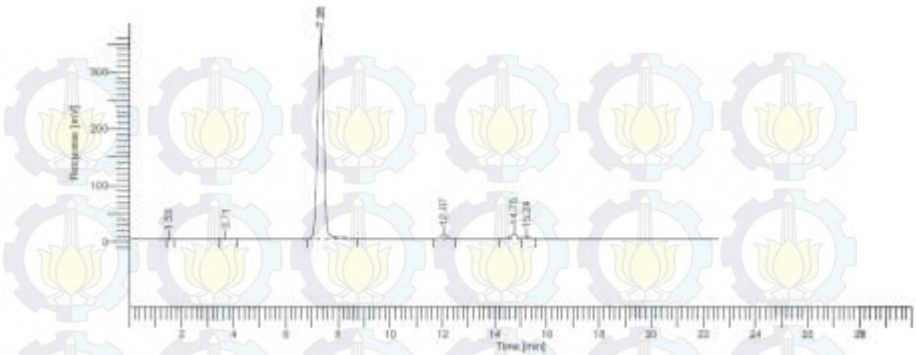
Gambar IV.9 Grafik Hubungan antara Waktu Reaksi dengan %Konversi pada Berbagai Suhu

Seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.9 dapat diketahui bahwa penambahan waktu reaksi akan meningkatkan

persen konversi biodiesel. Hal tersebut terlihat pada waktu 30 menit sampai dengan 60 menit konversi mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan reaksi yang berlangsung selama 30 menit. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan pada reaksi transesterifikasi penambahan waktu reaksi sangat menentukan besarnya konversi yang diperoleh. Semakin lama reaksi dijalankan, maka konversi yang dicapai semakin tinggi, karena kesempatan tumbukan antara molekul-molekul zat pereaksi makin besar (Sivakumar dkk., 2012). Sedangkan pada waktu 60 menit sampai 120 menit hasil konversi reaksi cenderung konstan. Hal ini menunjukkan penambahan waktu reaksi tidak lagi memberikan peningkatan nilai konversi karena reaksi berada dalam keadaan setimbang (Leung et al., 2010). Dari grafik diatas konversi terbesar untuk pembuatan FAME menggunakan katalis $K/\gamma-Al_2O_3$ yaitu pada suhu $60\text{ }^{\circ}C$ dan waktu reaksi 120 menit dengan konversi sebesar 65,034%.

IV.5 Karakteristik Produk Biodiesel Terbaik

Dari hasil yang telah didapatkan, berikut ini merupakan perbandingan biodiesel dari minyak kelapa sawit RBD merk Bimoli dengan kadar FAME tertinggi yang telah diuji karakteristiknya menurut SNI 04-7182-2006. Hasil analisa dengan metode GC untuk produk katalis terbaik, yaitu katalis homogen (KOH) pada suhu $60^{\circ}C$, waktu reaksi 120 menit dengan massa katalis 1 gram. Berdasarkan hasil analisa didapatkan kadar FAME sebesar 89,95%.



Gambar IV.10 Hasil analisa GC produk biodiesel terbaik

Tabel IV.4 Perbandingan Spesifikasi Biodiesel

Parameter	SNI 04-7182-2006	Biodiesel Minyak Bimoli
Flash point	≥100	110 °C
Pour point	≤18	3 °C
Densitas (40°C)	0,850 – 0,890	0,872 kg/m ³
Viskositas (40°C)	2,3 – 6 mm ² /s	4,63 mm ² /s

Apabila dibandingkan dengan SNI 04-7182-2006, biodiesel dari minyak bimoli telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan untuk parameter *flash point*, *pour point*, densitas dan viskositas.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Katalis padat $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat digunakan sebagai katalis dalam proses pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit RBD dengan metanol. Luas permukaan katalis didapat dari analisa BET sebesar $59,538 \text{ m}^2/\text{g}$.
2. Pengaruh komposisi katalis terhadap *yield* biodiesel menunjukkan bahwa semakin besar penambahan katalis sebanding dengan kenaikan *yield* biodiesel, komposisi katalis optimum diperoleh pada massa katalis 1 gram KOH dan 7 gram $K/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.
3. Pengaruh waktu terhadap *yield* biodiesel menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka *yield* biodiesel semakin tinggi, namun setelah waktu 60 menit *yield* tidak mengalami kenaikan yang signifikan, cenderung konstan.
4. Pengaruh suhu terhadap *yield* biodiesel menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka *yield* biodiesel semakin menurun, suhu optimum yang didapatkan adalah 60°C .
5. *Yield* biodiesel tertinggi menggunakan katalis homogen (KOH) dengan *yield* sebesar 71,752% diperoleh pada kondisi operasi suhu 60°C dan waktu reaksi 120 menit.

V.2 Saran

Penambahan katalis pada reaksi transesterifikasi dalam reaktor *batch* dapat digunakan untuk meningkatkan *yield* dan konversi biodiesel, namun harus diperhatikan jumlah katalis yang semakin banyak akan menyebabkan produk menjadi sangat *viscous* dan akan memperkecil produk. Selain itu, % loading katalis dibuat bervariasi agar bisa memperoleh perbandingan komposisi katalis terbaik.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide. Diakses pada tanggal 20 Januari 2015.
- Anonim. <http://karanhtengahraharjo.blogspot.com/2011/10/minyak-kepala-sawit.html>. Diakses pada tanggal 20 Januari 2015.
- Anonim. <https://id.scribd.com/doc/199777528/Contoh3-Biodiesel>. Diakses pada tanggal 23 Januari 2015.
- Anonim. 2006. SNI 04-7182-2006. Standart Nasional Biodiesel.
- Atabani, A.E, Silitonga A.S, Badrudin. I.A, Mahlia T.M.I, Masjuki, H.H dan Mekhilef, S. 2011. *A Comprehensive Review on Biodiesel as An Alternative Energy Resources and its Characteristics*. University of Malaysia.
- Dewajani H. 2011. *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Secara Kontinyu Dalam Model Reaktor Berisian*. Yogyakarta: Politeknik Negeri Malang.
- Farroq, M., Ramli, A., Subbarao, D. 2013. *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Bifunctional Heterogeneous Solid Catalysts*. Journal of Cleaner Production: Malaysia
- Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts, T.L. 1984. *Variable Affecting the Yield of Fatty Esters from Transesterifikasi Vegetable Oils*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 61, No. 10, 1638-1643.
- Freedman, B. Butterfield, R.O, Pryde. E.H. 1986. *Transesterification Kinetics of Soybean Oil*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 63 (10) : 1375-80
- Handi. 2012. *Reaksi Pembentukan Metoksi yang Efektif pada Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Campuran Besi, Zeolit dan NaOH*. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Hui, Y.H. 1996. *Bailey's Industrial Oil and Fat Production Oil Seed Product*, 5th ed. 2. New York. John Wiley and Son Company.

- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama. Jakarta : UI
- Knozinger, Helmut. 2009. *Heterogeneous Catalysis and Solid Catalysts*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Germany.
- Leevijit, T., Wisutmethangoon, W., Prateepchaikul, G., Tongurai, C., Allen, M. 2004. "Transesterification of Palm Oil in Series of Continous Stirred Tank Reactors", *The Joint Internasional Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)*
- Leung, D.Y.C., Wu, X., Leung, M.K.H. 2010. *A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification*, *Applied Energy*, 87, hal. 1083 – 1095.
- Levenspiel, O. 1999, *Chemical Reaction Engineering*, 3rd edition, Wiley International edition, John Wiley and Sons, Inc, Canada.
- Masoud Zabeti, Wan Mohd Ashri Wan Daud, dan Mohamed Kheireddine Aroua. 2010. *A review of Activity of solid catalysts for biodiesel production. Fuel Processing Technology 90 pp 770–777*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Corp., Methanex. 2006. *Technical Information & safe Handling Guide for Methanol*. Vancouver, Canada.
- M Isa Anshary, Oktavia Damayanti dan Achmad Roesyadi. 2012. *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda Dalam Reaktor Fixed Bed*. *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 1, No. 1, pp1-4.
- N H, Maharani. Zuliyana. 2010. *Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Methanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Nurhayati, Muhdarina, dan Wiji Utami. 2013. *Mollusk Shell Waste of Anadara Granosa as a Heterogeneous Catalyst for The Production of Biodiesel*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

- Pasaribu, Nurhida. 2004. *Minyak Buah Kelapa Sawit*. Medan, Indonesia.
- Petr Kutalek, Libor Capek, Lucie Smolakova, David Kubička and Martin Hajek 2014. *Aspects of Stability of K/Al_2O_3 Catalysts for the Transesterification of Rapessed Oil in Batch and Fixed-bed Reactors*. Departement of Physical Chemistry, Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice. Czech Republic.
- Pusat data dan Informasi. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*. Jakarta : Departemen Perindustrian.
- Ramli Mat, Rubyatul A. Samsudin, Mhadhir Mohamed, dan Anwar Johari. 2012. *Solid Catalysts and Their Application in Biodiesel Production*. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 7 (2), pp 142 – 149. Johor, Malaysia.
- Schuchrtd, U., Secheli, RM. 1998. *Transesterification of Vegetable Oil*: a review. J Bras. Chem.Soc.9.199-210.
- Serio,M.D., Tesser, M.R., Pengmei,L., Santacesaria,E. 2008, “Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production”, *Energy and Fuel*, Vol. 22, hal. 207- 217
- Sivakumar, P., Sindhanaiselvan, S., Gandhi, N.N., Devi, S.S., Renganatan, S. 2012. *Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized Ceiba Pentandra oil*. Elsevier Journal
- Tuti Indah .S., M. Saidl Adhitya Summa .W. dan Ani .K. Sari. 2011. *Katalis Basa Heterogen Campuran CaO & SrO Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit*. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3. Palembang, Indonesia. Oktober 26-27.
- Umdu, E.S. 2008. *Methyl Ester Production From Vegetable Oils on Heterogeneous Basic Catalysts*. M.Sc.Thesis. Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology. Izmir, Turkish.

- Viswanathan, B dan A.V Ramaswary . 2005. *Selection of solid Heterogenous Catalyst for Transesterification Reaction*. National Centre for Catalyst Research Indian of Technology. Madras, Chennai.
- Xie, W., Li, H. 2006, *Alumina-Supported Potassium Iodide as a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Soybean Oil*, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, Vol. 255, 1-9
- Xie, W., Li, H. 2007, *Soybean Oil Methyl Esters Preparation Using NaX Zeolites Loaded with KOH as a Heterogeneous Catalyst*, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, Vol. 98:936-9
- Yoeswono, Triyono., Tahir, I. 2007. *Pemanfaatan Limbah Abu Tandan Kosong Sawit sebagai Katalis Basa pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit*. <http://iqmal.staff.uqm.ac.id> (11 Juni 2015)
- Yan, Shuli. 2008. *Using Calcium Oxide Based Catalyst in Transesterification of Soybean Oil with Methanol*. Jurnal of molecular catalyst.
- Zabeti, M., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K. 2009, *Activity of Solid Catalysts for Biodiesel Production: A review*, Fuel Processing Technology, Vol. 90, hal. 770-777

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 28 Juli 1992 dengan nama Aristia Anggraeni Santoso yang merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Sacharosa tahun 1996-1998, SDN Krian 3 tahun 1998-2004, SMPN 2 Krian tahun 2004-2007, dan SMAN 1 Krian tahun 2007-2010. Setelah lulus dari bangku SMA, pada tahun 2010 penulis diterima di Program Studi D3 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya dengan NRP 2310 030

017. Lulus D3, penulis melanjutkan pendidikannya di S1 Teknik Kimia FTI – ITS dengan NRP 2313 105 007. Penulis mengerjakan dan menyusun laporan penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia selama 1 tahun penuh. Penulis aktif dalam beberapa organisasi diantaranya menjadi Staff dan Sekretaris Bidang HUMAS Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Kimia FTI – ITS. Selain kegiatan organisasi, penulis juga aktif mengikuti beberapa seminar dan pelatihan baik yang diadakan oleh jurusan, institut, maupun regional Surabaya.

Email : aristia.anggraeni@gmail.com
Facebook : Aristya Anggraeni
Telepon : 085648225580

BIODATA PENULIS



Aulia Kartika Dewi, penulis dilahirkan di Sidoarjo, tepatnya pada tanggal 10 Oktober 1992, anak kedua dari tiga bersaudara. Alamat rumah Ds. Klurak Jln. Bali RT.13 RW.04 Candi Sidoarjo. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Darmawanita tahun 1996-1998, SDN Klurak tahun 1998-2004, SMPN 1 Candi tahun 2004-2007, SMAN 4 Sidoarjo tahun 2007-2010, pada tahun 2010 penulis diterima di Program Studi D3 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya dengan NRP 2310 030 037. Penulis melanjutkan pendidikannya di S1 Teknik Kimia FTI – ITS dengan NRP 2313 105 012 Penulis pernah menjabat sebagai Staff dan Ketua Sub Bidang Hubungan Luar (HUMAS) Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Kimia FTI – ITS. Selain kegiatan organisasi, penulis juga aktif mengikuti beberapa seminar dan pelatihan baik yang diadakan oleh jurusan, institut, maupun regional Surabaya.

Email	: auliakd37@gmail.com
Facebook	: Aulia Kartika Dewi
Telepon	: 089677354024